



Influence d'un environnement chaud et humide sur les réponses perceptives et physiologiques : applications dans le domaine du sport et de la santé.

Benoît Gonzales

► To cite this version:

Benoît Gonzales. Influence d'un environnement chaud et humide sur les réponses perceptives et physiologiques : applications dans le domaine du sport et de la santé.. Physiologie [q-bio.TO]. Université de Franche-Comté, 2012. Français. NNT : 2012BESA3013 . tel-01145579

HAL Id: tel-01145579

<https://theses.hal.science/tel-01145579>

Submitted on 30 Apr 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ
UNITÉ DE PROMOTION, DE FORMATION ET DE
RECHERCHE DES SPORTS DE BESANÇON

**Influence d'un environnement chaud et humide sur
les réponses perceptives et physiologiques : applications
dans le domaine du sport et de la santé.**

THÈSE N° 25-12-13

Ayant pour but l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

(ED-554 : Environnements Santé)

Spécialité : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Présentée et soutenue publiquement par

Benoît GONZALES

Le 03 décembre 2012

JURY :

Jérémy COQUART (examineur)	MCU, université de Rouen
Benoît DUGUÉ (rapporteur)	Professeur, université de Poitiers
Murielle GARCIN (rapporteur)	Professeur, université de Lille 2
Alain GROSLAMBERT (directeur)	MCU-HDR, université de Franche-Comté
Jean-Denis ROUILLON (examineur)	Professeur, université de Franche-Comté
Lucien RUMBACH (examineur)	PU-PH, CHU de Besançon

Remerciements

Au Dr Alain Gros Lambert pour tout le soutien qu'il m'a apporté, la rigueur, le réconfort, l'aide morale, les conseils, l'immense patience dont il a fait preuve - lors de ses explications sur les stats entre autres - et les moments de rires... Bref... un Directeur de Thèse comme il devrait y en avoir plus souvent !

A mes rapporteurs les Pr Murielle GARCIN et Pr Benoît DUGUÉ pour leur temps, leur disponibilité et la qualité de leurs commentaires qui auront permis de d'apporter un éclairage scientifique précieux.

Au Professeur Jean-Denis ROUILLON et au Dr JérémY COQUART pour avoir eu l'amabilité d'avoir expertisé ce travail et d'avoir participé au Jury de cette thèse.

A Vincent Hagin pour son aide, son soutien, son amitié et la cohésion dont nous avons réussi à faire preuve pour mener à bien ces projets de thèse, ces rédactions d'articles et d'autres discussions plus futiles.

A Ronan Guillot, dit « Jésus », pour son aide incommensurable sur la bibliographie initiale et la transmission de sa passion pour la recherche et les tests en cyclisme.

A tous les membres du Laboratoire M2S de Rennes pour cette merveilleuse année passée dans la bonne humeur et qui me laissera des souvenirs

indélébiles, et plus particulièrement à la faune autochtone du Blockhaus et au Pr Paul DELAMARCHE pour son partage d'expérience et ses franches poignées de main pleines de sens.

A l'ensemble de l'UPFR des Sports de Besançon qui a su me faire me sentir « comme à la maison » en retrouvant mes marques au sein d'une équipe respirant la joie de vivre.

A M. Collilieux, un CPE d'exception, humain, réaliste, et toujours prêt à reconforter et soutenir les siens !

A ma sœur et mon frère qui, par leurs conseils plus ou moins avisés, m'ont permis de grandir.

A mes amis sans qui cette thèse ne se serait jamais terminée, notamment ceux qui m'ont épaulé, encouragé, engueulé parfois, et qui m'ont permis de m'ouvrir au monde.

A mes parents pour le soutien sans faille qu'ils m'ont apporté au cours de ces 10 longues années d'études, et les valeurs qu'ils m'ont inculquées.

A la mémoire de Roland, mon grand-père, qui nous a quittés alors que j'écrivais cette thèse, à quelques jours seulement de la soutenance.

A la mémoire du Professeur Lucien RUMBACH, disparu quelques semaines après la présentation de ce travail, un homme d'un grand cœur, bienveillant et exceptionnel en tout point.

Et finalement, à Sorya, tu as fait tellement pour moi, et tu me donnes chaque jour de nouvelles raisons de t'aimer un peu plus.

SOMMAIRE

Sommaire	i
Travaux de l'auteur.....	vi
Publications	vii
Articles soumis	vii
Protocole en cours.....	vii
Communications / Actes de Congrès.....	viii
Liste des figures et tableaux (légendes)	ix
Liste des figures	x
Liste des tableaux.....	xiii
Glossaire.....	xiv
Unités	xvi
Introduction	1
Énoncé du problème.....	2
Orientation du travail.....	3
Revue de littérature	5
La thermorégulation comme point de départ	6
<i>Quelle action du système cardiovasculaire ?.....</i>	<i>8</i>
<i>L'importance des températures centrales, cutanées et musculaires</i>	<i>9</i>
Un environnement chaud et humide pour pratiquer une activité physique ?	10
<i>Dans le cas d'un exercice aérobic</i>	<i>12</i>

<i>Dans le cas d'un exercice anaérobie.....</i>	<i>13</i>
Quelle place pour les aspects perceptifs dans ce type d'environnement ?	14
<i>La perception de la température.....</i>	<i>14</i>
<i>Perception subjective de l'effort.....</i>	<i>16</i>
<i>Interdépendances entre Physiologie-Perception.....</i>	<i>18</i>
Par quels moyens contrer ces effets délétères ?	20
<i>Méthode globale - Acclimatation.....</i>	<i>20</i>
<i>Méthode textile / matérielle – Stratégie d'habillement.....</i>	<i>22</i>
<i>Méthode hydrique – Hyperhydratation</i>	<i>23</i>
<i>Méthode thermique – Abaissement de la température centrale et cutanée</i>	<i>23</i>
Le cooling : Principes généraux	24
<i>Le pré-cooling</i>	<i>24</i>
<i>Le post-cooling.....</i>	<i>27</i>
Quel impact de la chaleur sur les pathologies ?	28
<i>Quelles sont les pathologies ciblées ?</i>	<i>28</i>
<i>La sclérose en plaques</i>	<i>30</i>
Problématique et hypothèses de travail	35
Problématique	36
Hypothèses	37
Objectifs	37
Travaux personnels.....	38
Étude n°1 : Pré-/post-cooling combiné.....	39
<i>Introduction</i>	<i>39</i>

<i>Méthode</i>	41
<i>Analyses statistiques</i>	45
<i>Résultats</i>	45
<i>Discussion</i>	54
<i>Conclusions</i>	59
Étude n°2 : Comment éviter les baisses de performance au Wingate Test dans un environnement chaud et humide ?	62
<i>Introduction</i>	62
<i>Protocole</i>	65
<i>Analyse Statistique</i>	68
<i>Résultats</i>	68
<i>Discussion</i>	72
<i>Conclusions</i>	74
Étude n°3 : Stratégie d'habillement	77
<i>Introduction</i>	77
<i>Méthode</i>	78
<i>Analyses Statistiques</i>	83
<i>Résultats</i>	84
<i>Discussion</i>	87
<i>Conclusion</i>	89
Discussion générale / Synthèse des études	90
Perspectives de recherche	101
Projet ThermoSEP	102
<i>Introduction</i>	102

<i>Méthode</i>	104
<i>Résultats attendus et suites au projet</i>	107
Conclusion générale	109
Références Bibliographiques	111
<i>Mots-clés utilisés pour la recherche bibliographique</i>	112
Bibliographie	113
Annexes	138
Publication 1	139
Publication 2	147
Publication 3	149
Publication 4	151
Publication 5	153

TRAVAUX DE L'AUTEUR

PUBLICATIONS

Gonzales BR, Hagin V, Guillot R, Placet V, Gros Lambert A. Effects of polyester jerseys on psycho-physiological responses during exercise in a hot and moist environment. *J Strength Cond Res*, 2011, 25(12): 3432-3438. (IF = 1,831). Publication 1, p. 139.

Hagin V, **Gonzales BR**, Candau RB, Gros Lambert A. Influence of a conservative sleep management strategy during a solo Pacific Ocean crossing on anxiety and perceived fatigue: a case study. *J Sports Sci*, 2012, 30(4): 395-402. (IF = 1,931). Publication 5, p. 153.

ARTICLES SOUMIS

Gonzales BR, Hagin V, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Gros Lambert A. Self-paced cycling performance and recovery under a hot and highly humid environment after cooling. *J Sports Med Phys Fitness*. (IF = 0,847). Publication 2, p. 147.

Gonzales BR, Hagin V, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Gros Lambert A. Influence of upper-body on cycling anaerobic performance under a hot and moist environment. *J Athl Train*. (IF = 1,796). Publication 3, p.149.

PROTOCOLE EN COURS

Effets du refroidissement corporel sur la cognition, la motricité et le confort des patients atteints de sclérose en plaques (SEP). (CPP Est-II Réf. 11/607). Publication 4, p.151.

Amélioration de la qualité de vie des patients atteints de sclérose en plaques (SEP) : Effet du port d'une veste de cooling sur l'exécution des tâches quotidiennes. (CPP Est-II Réf. 11/607). Publication 4, p.151.

COMMUNICATIONS / ACTES DE CONGRÈS

Gonzales BR, Hagin V, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Gros Lambert A. Perceived and physiological effects of body cooling on mild-endurance and anaerobic performance under extreme heat and relative humidity. *IVème Congrès Annuel de la Société Suisse des Sciences du Sport*, 2012, Macolin, Suisse.

Gonzales BR, Hagin V, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Gros Lambert A. Effets du pré/post cooling sur les réponses perceptives et physiologiques et sur les performances en cyclisme. *XIVème Congrès International de l'ACAPS*, 2011, Rennes, France.

Gonzales BR, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Hagin V, Gros Lambert A. Effects of pre/post cooling on the physiological and perceptual responses and on the performance in cycling. *IIème Journée G. Cometti « La préparation Physique : du laboratoire au terrain »*, 2010, Dijon, France.

Gonzales BR, Guillot R, Placet V, Monnier-Benoit P, Hagin V, Gros Lambert A. Effects of pre/post cooling on the physiological and perceptual responses and on the performance in cycling. *XVIème Forum des Jeunes chercheurs*, 2010, Besançon, France.

Gonzales BR, Guillot R, Placet V, Gros Lambert A. Effects of cycling jerseys with knits of different sizes on psycho-physiological responses during exercise performed in a hot and moist environment. *XIIIème Congrès International de l'ACAPS « Approche Pluridisciplinaire de la Motricité Humaine »*, 2009, Lyon, France.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX (LÉGENDES)

LISTE DES FIGURES

Figure A/ Mécanismes de régulation de la température corporelle. (©ThermoAnalytics, Inc. ; http://www.thermoanalytics.com/products/thermalcomfort)	7
Figure B/ Échanges thermiques entre le corps humain et son environnement (Gisolfi & Wenger, 1984).....	10
Figure C/ Température ambiante et échanges thermiques (Adapté de Nielsen, 1938).....	11
Figure D/ Images de thermographie d'un homme après l'effort et zones d'échange thermique	12
Figure E/ Image de thermographie d'un cycliste en plein effort à la neutralité thermique	13
Figure F/ Feeling Scale modifiée pour la perception de la température (Hardy & Rejeski, 1989).....	15
Figure G/ Predicted Mean Vote index scale (PMV) (ASHRAE, 1996)	15
Figure H/ Échelle de perception subjective de l'effort (RPE 6-20) (Borg, 1970)	17
Figure I/ Humidex, échelle du degré de confort selon la température et l'humidité relative (Masterson & Richardson, 1979)	22
Figure J/ Gaine de myéline endommagée par la SEP (© 2007 HowStuffWorks).....	29
Figure K/ Puissance moyenne (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) développée lors du TT ₂₀ effectué à intensité autorégulée. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions	46

Figure L/ Allure normalisée de la puissance externe développée (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) par périodes de 2 minutes lors du TT ₂₀ effectué à intensité autorégulée.	47
Figure M/ Température cutanée (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'un échauffement standardisé, du TT ₂₀ effectué à une intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions	48
Figure N/ Température rectale (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) au repos, à la fin de l'échauffement standardisé, à la fin du TT ₂₀ et lors de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions.....	49
Figure O/ Perception subjective de l'effort (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'un échauffement standardisé, du TT ₂₀ effectué à intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions	51
Figure P/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'un échauffement standardisé, du TT ₂₀ effectué à intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions.....	52
Figure Q/ Fréquence cardiaque (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'un échauffement standardisé, du TT ₂₀ effectué à intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions.....	53
Figure R/ Température cutanée (Moyenne \pm Écart-Type, n = 9) au repos, lors d'un échauffement standardisé et lors du Wingate Test. * Différence significative (P < 0,05) entre les conditions	69
Figure S/ Perception subjective de l'effort (Moyenne \pm Écart-Type, n = 9) lors d'un échauffement standardisé.....	70

Figure T/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, n = 9) lors d'un échauffement standardisé et après un Wingate Test. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions	71
Figure U/ Contributions métaboliques à l'énergie musculaire. Adaptée de Driskell & Wolinsky (2000).....	73
Figure V/ Sujet portant un masque aveuglant lors du test du maillot à mailles larges.	82
Figure W/ Température cutanée (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'un exercice de pédalage de 15 minutes à intensité constante lors du port de différents maillots de cyclisme. * Différence significative (P < 0,05) entre la condition mailles larges (LK) et la condition mailles fines (SK).....	85
Figure X/ Température du maillot (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'une épreuve de 15 minutes de pédalage à puissance constante en portant différents maillots de cyclisme. * Différence significative (P < 0,05) entre la condition mailles larges (LK) et la condition mailles fines (SK). # Différence significative (P < 0,05) entre la condition mailles moyennes (MK) et la condition mailles fines (SK)	86
Figure Y/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors d'une épreuve de 15 minutes de pédalage à puissance constante en portant différents maillots de cyclisme. * Différence significative (P < 0,05) entre la condition maille larges (LK) et la condition mailles fines (SK). # Différence significative (P < 0,05) entre la condition mailles moyennes (MK) et la condition mailles fines (SK)	87
Figure Z/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives lors d'un exercice en cyclisme effectué à intensité sous-maximale et dans un environnement chaud et humide.....	95

Figure AA/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives lors d'un exercice effectué à intensité maximale et dans un environnement chaud et humide	96
Figure BB/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives suite au refroidissement corporel lors de la récupération d'un effort effectué dans un environnement chaud et humide	97
Figure CC/ Échelle EDSS - simplifiée - de caractérisation de l'atteinte d'un handicap physique (Kurtzke, 1983).....	105

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1/ Baisse de la température rectale (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors de la récupération. *Différence significative ($P < 0.05$) entre les deux conditions	50
Tableau 2/ Analyse de corrélations linéaires dans la condition contrôle. N.S. : Non Significatif. *** : $P < 0,001$	53
Tableau 3/ Analyse de corrélations linéaires dans la condition cooling. N.S. : Non significatif. *** : $P < 0,001$. ** : $P < 0,05$	54
Tableau 4/ Puissance développée lors du Wingate Test (n = 9).....	68
Tableau 5/ Caractéristiques des maillots de cyclisme testés	80

GLOSSAIRE

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BMX	Bicycle Moto-Cross
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CR-10	Category Ratio – 10 items
CV	Coefficient de Variation
EDSS	Expanded Disability Status Scale
FC	Fréquence Cardiaque
IMC	Indice de Masse Corporelle
LK	Large Knits
MK	Medium Knits
P_{max}	Puissance Maximale
P_{min}	Puissance Minimale
P_{moy}	Puissance Moyenne
PMA	Puissance Maximale Aérobie
PMV	Predicted Mean Vote
PSE	Perception Subjective de l'Effort
RPE	Rating of Perceived Exertion
SEP	Sclérose En Plaques
SK	Small Knits
TT ₂₀	Time-Trial 20 minutes
WT	Wingate Test

UNITÉS

.min^{-1}	par minute
$^{\circ}\text{C}$	degré Celsius
bpm	battement par minute
J	joules
kg	kilogramme
m	mètre
mm Hg	millimètres de mercure
W	watts

INTRODUCTION

Le travail de recherche en activités physiques et sportives a pour but d'améliorer la connaissance générale des activités visées, d'améliorer les conditions d'exercice des athlètes ou d'améliorer les performances. Les travaux effectués par les scientifiques ont pour but de permettre aux sportifs d'accomplir leur tâche avec le minimum de contraintes (physiques, psychologiques, biomécaniques, etc.).

De nos jours, les interactions entre ces grandes disciplines scientifiques historiques sont de plus en plus marquantes et les implications qui en résultent amènent les équipes de chercheurs à s'orienter vers de nouveaux champs d'application, à la croisée des grandes disciplines de recherche historiques. Ainsi, la psychophysiologie fait appel à des fondements théoriques faisant référence aux sciences cognitives, aux neurosciences, à la psychologie clinique et à la physiologie de l'exercice. Leur combinaison permet d'expliquer, ou à défaut, de pointer du doigt, les mécanismes mis en œuvre dans une tâche motrice particulière. À l'approche des Jeux Olympiques de Pékin en 2008, les premiers travaux de cette thèse consistaient en l'exploration de ces interactions disciplinaires en cyclisme.

Au-delà de la performance sportive, les orientations prises par ces travaux ont soulevé le questionnement de l'étude de ce champ interdisciplinaire dans des domaines autres que ceux du sport, et notamment dans le domaine de la recherche clinique.

ÉNONCÉ DU PROBLÈME

Dans le cadre de cette recherche pluridisciplinaire, nous avons tenté d'aborder les différentes problématiques par l'intermédiaire de la perception de l'effort. Ce concept que l'on doit à Gunnar Borg (1973) peut se définir comme la manière dont un individu ressent et interprète les différents signaux générés par la réalisation d'un exercice. La manière dont est perçue la pénibilité d'un effort par un athlète modifie les stratégies qu'il va utiliser, son temps de travail, son confort, sa performance. Cette perception dépend en grande partie de facteurs

psychologiques, comme la motivation, la pugnacité, le désir de vaincre, le dépassement de soi ; de facteurs physiologiques, comme la quantité de phosphocréatine intramusculaire, l'état des stocks de glycogène, les valeurs de $\dot{V}O_2\text{max}$, la force développée ; mais aussi de facteurs extérieurs à l'athlète comme les conditions environnementales.

Les facteurs physiologiques et psychologiques ont fait l'objet de nombreuses recherches (Robertson & Noble, 1997), qui permettent aujourd'hui de mieux comprendre les différents mécanismes mis en jeu lors de la réalisation d'une performance. Cependant, l'influence des facteurs environnementaux sur la perception de l'effort est à ce jour mal connue et peu documentée et pourrait jouer rôle majeur sur le niveau de performances sportives, ainsi que dans un cadre de recherche clinique sur le niveau de qualité de vie de patients.

ORIENTATION DU TRAVAIL

Le but de notre recherche était d'une part d'étudier l'influence des conditions climatiques, particulièrement la chaleur et l'humidité, sur le niveau de performance sportive, notamment en cyclisme. Nous avons d'autre part tenté de proposer des solutions innovantes afin de limiter les effets délétères provoqués par l'exercice réalisé dans un tel environnement. Parmi les solutions proposées nous avons testé, avant, pendant et après l'exercice, l'impact de différents vêtements thermorégulants. Nous avons aussi proposé l'évaluation des effets de ces vêtements sur les aptitudes physiques et cognitives de patients souffrant de sclérose en plaques (SEP) thermosensibles. La diversité des sujets volontaires pour ces études s'explique par le fait que sous des températures élevées, les performances des sportifs sont amoindries, mais que les symptômes de certains patients atteints de SEP soient aggravés par ces conditions climatiques.

Dès lors, est-il possible de diminuer les effets délétères de la chaleur et de l'humidité relative ambiante pour des athlètes de haut niveau ? Au vu des données météorologiques particulières des JO de Pékin en 2008 (Barwood et coll., 2009), les deux premières études se sont orientées sur les moyens de contrer les effets de l'environnement sur deux types de performance en cyclisme, mais aussi d'y combiner une méthode de récupération permettant de recouvrer ses facultés physiques au plus vite.

Le but de notre troisième étude de cette thèse était de déterminer les effets du port de différents maillots de cyclisme utilisés par les équipes de France au cours des dernières années sur les réponses psychophysiologiques des cyclistes, et ce toujours dans les conditions climatiques estivales observées à Pékin.

Les perspectives de ces travaux nous ont conduits à élargir le champ d'application habituel de ces stratégies de lutte contre la chaleur. L'éventail des performances physiques pourrait se traduire par la constitution de groupes bien identifiés au sein d'une population hétérogène avec d'un côté les sportifs de haut-niveau, ayant une capacité à effectuer des efforts physiques exceptionnels, et de l'autre, les personnes diminuées physiquement, soit par un handicap, une maladie ou l'âge et qui par définition ont une capacité moindre à effectuer des efforts physiques. Il est étonnant de constater que ce qui permet d'améliorer les performances de certains peut aussi engendrer une amélioration de la qualité de vie des autres. Et c'est à partir de ce constat que nous avons mis en place notre dernier protocole qui s'est intéressé non plus aux sportifs, mais aux patients présentant des déficiences neurologiques ayant un impact sur leur qualité de vie. Les patients atteints de SEP, diminués de manière chronique ou intermittente, pourraient bénéficier de ces stratégies de lutte contre les effets néfastes d'une haute température, dans le but de limiter l'aggravation de leurs symptômes et d'améliorer leur qualité de vie.

REVUE DE LITTÉRATURE

LA THERMORÉGULATION COMME POINT DE DÉPART

Depuis qu'il est admis que la chaleur et l'humidité sont des facteurs susceptibles de détériorer la performance sportive (Hargreaves & Febbraio, 1998 ; Hargreaves, 2008), les travaux scientifiques réalisés sur la thermorégulation se sont développés, notamment à l'approche des JO d'Atlanta (1996) et de ceux d'Athènes (2004) (Quod et coll., 2006). A quelques mois des JO de Pékin (2008), les travaux dans ce domaine semblent s'intensifier et montrent, entre autres, que pour limiter les effets délétères de la chaleur, il existe, à ce jour, différentes méthodes qui utilisent le refroidissement corporel (cooling) avant l'exercice (pré-cooling). Ces méthodes augmenteraient la capacité d'évacuation de la chaleur corporelle, permettant ainsi à l'athlète de maintenir un haut niveau de performance dans un environnement chaud et humide (Ucker & Joch, 2007). Après avoir rappelé brièvement les bases scientifiques de la thermorégulation, nous présenterons une revue de la littérature concernant les différentes techniques de refroidissement corporel et leurs effets sur la performance sportive ainsi que sur les mécanismes impliqués dans les symptômes observés chez des patients atteints de sclérose en plaques.

La thermorégulation est une fonction biologique de l'organisme qui assure la constance de la température interne du corps (homéothermie) (Figure A) et qui consiste à équilibrer la thermogenèse et la thermolyse. La thermogenèse est la production de chaleur et la thermolyse la perte de chaleur. L'hypothalamus est le centre régulateur de la température interne, c'est lui qui dirige le mécanisme de thermorégulation. Il reçoit différentes informations provenant des thermorécepteurs centraux, locaux, périphériques et cutanés. Il effectue les ajustements nécessaires pour que la température centrale reste constante. La thermorégulation va être sollicitée soit pour répondre à une modification de la température liée à des phénomènes internes, soit pour répondre à un stress thermique externe. Ces régulations thermiques ont pour but d'éviter au sujet de subir un « coup de chaleur ». La

symptomatologie du coup de chaleur est définie par une élévation excessive de la température centrale (au-dessus de 40 °C), un arrêt de la sudation, une peau sèche et chaude, une respiration rapide, une fréquence cardiaque élevée, de l'hypertension et des troubles cognitifs. Véritable urgence médicale, elle peut être fatale pour de nombreux sportifs lorsque la température centrale excède 40 °C. (Casa et coll., 2012 ; Rohe, 2012).

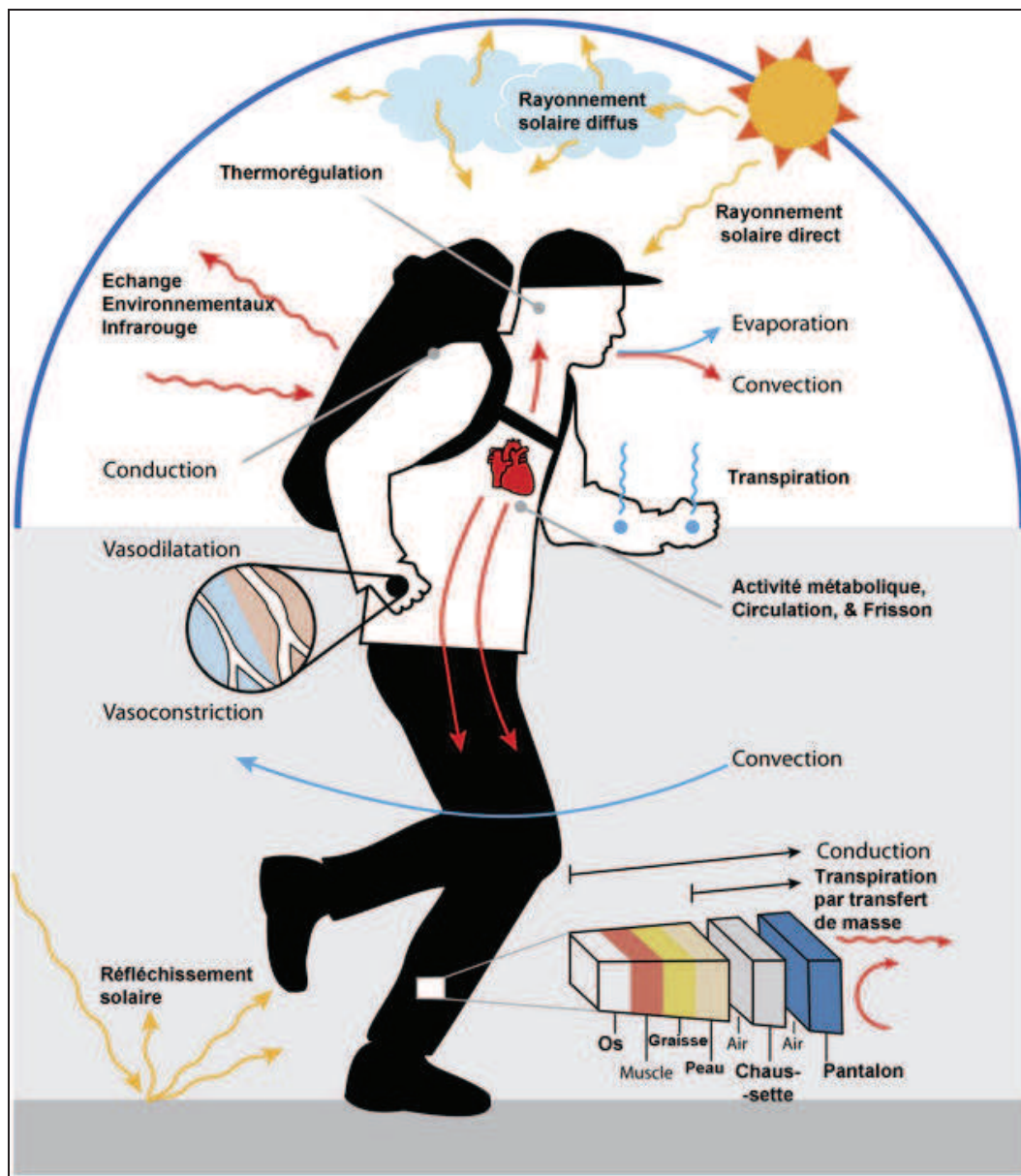


Figure A/ Mécanismes de régulation de la température corporelle. (©ThermoAnalytics, Inc. ; <http://www.thermoanalytics.com/products/thermalcomfort>)

QUELLE ACTION DU SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE ?

L'augmentation passive de la température a pour effet d'augmenter significativement la FC. En effet, Crandall et coll. (2008) ont montré que le port d'une veste perfusée d'une eau à une température entre 46 et 48 °C avait augmenté la FC des sujets de 52 ± 2 à 93 ± 4 bpm. De manière passive, le réchauffement de la température ambiante suffit à augmenter de manière significative la fréquence cardiaque des humains. Lors de cette même expérience, il a été démontré que la pression diastolique chutait dangereusement lors d'une exposition passive à la chaleur ($5,5 \pm 0,7$ mm Hg vs. $0,2 \pm 0,6$ mm Hg).

Le débit sanguin périphérique est lui aussi altéré par une augmentation importante de la température ambiante. Gonzalez-Alonso et coll. (2008) ont décrit les limites physiologiques à l'activité physique dans un environnement chaud. Dans ces conditions, le débit sanguin cutané atteint un palier dès lors que la température interne dépasse 38 °C. Il semblerait qu'une température interne, et plus particulièrement des centres nerveux supérieurs, proche de 40 °C soit aussi à l'origine d'une fatigue prématurée comme confirmé par les résultats d'électro - encéphalographie (EEG) de Nielsen & Nybo (2003). Rowell et coll. (1969) ont enregistré une élévation spectaculaire du débit sanguin cutané, passant de 200 ml.min^{-1} à 8000 ml.min^{-1} lors d'une exposition passive à la chaleur. De plus, lors de l'exécution d'un effort physique, une compétition se met en place entre les besoins de l'organisme concernant la perfusion sanguine des membres actifs et la nécessité de réduire l'augmentation de la température interne en redistribuant les masses sanguines à des fins de thermorégulation (Kenney, 2008). De ce fait, le débit sanguin cutané est augmenté à la fois par la température ambiante, mais aussi par l'activité physique elle-même dans le but de maximiser les échanges thermiques avec le milieu ambiant (Johnson, 2010).

La saturation veineuse en oxygène est modifiée par cette exposition passive à la chaleur (Crandall et coll., 2008) passant ainsi de $75,8 \pm 2,0 \%$ à $84,0 \pm 2,5 \%$, indiquant un échange gazeux plus faible de la part des cellules du corps humain.

L'IMPORTANCE DES TEMPÉRATURES CENTRALES, CUTANÉES ET MUSCULAIRES

L'homme est homéotherme : il régule lui-même sa température centrale afin de la garder la plus constante possible et aux alentours de 37°C . Selon les conditions climatiques et l'heure de la journée (rythme circadien), cette température peut s'écarter d'environ 1°C allant dans de $36,1^{\circ}\text{C}$ à $37,8^{\circ}\text{C}$ (Willmore & Costill, 2006). Le défi des centres régulateurs concernant la thermorégulation de l'homme est donc d'effectuer un équilibre permanent entre la production et la perte de chaleur. Dans des conditions environnementales de chaleur supérieure à la neutralité thermique, on retrouve ainsi respectivement la production de chaleur métabolique et la température ambiante dans les gains de chaleur et les mécanismes de perte de la chaleur qui sont la conduction, l'évaporation, la convection et la radiation. Ainsi, les centres thermorégulateurs intégrateurs ont comme rôle de réguler toutes ces fonctions afin de conserver une homéothermie la plus constante possible.

Lors de l'exécution d'un effort physique, la première cause d'élévation de la température centrale est la production de chaleur métabolique issue de la dégradation des substrats énergétiques et des frottements mécaniques et articulaires qui se produisent à l'occasion des mouvements du corps humain.

Lors d'une exposition passive à la chaleur, la température cutanée et centrale augmentent. L'étude menée par Crandall et coll. (2008) montre qu'une exposition à une température de 46°C augmentait significativement la température cutanée ($34,3 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ vs. $38,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$) et la température intestinale ($36,9 \pm 0,08^{\circ}\text{C}$ vs. $38,22 \pm 0,08^{\circ}\text{C}$).

Hettinga et coll. (2007) ont montré que la température musculaire augmentait de manière significative (de 37 °C à 38,7 °C) avec l'augmentation de la température et au cours d'un exercice de pédalage de 20 minutes à 60 % de la puissance maximale.

UN ENVIRONNEMENT CHAUD ET HUMIDE POUR PRATIQUER UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE ?

Il existe différents moyens qui permettent les échanges thermiques entre un corps humain et son environnement : ce sont la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation (Figure B) (Nielsen, 1969 ; Gisolfi & Wenger, 1984 ; Nielsen et coll., 1993 ; Kenney, 1998 ; Wendt et coll., 2007).

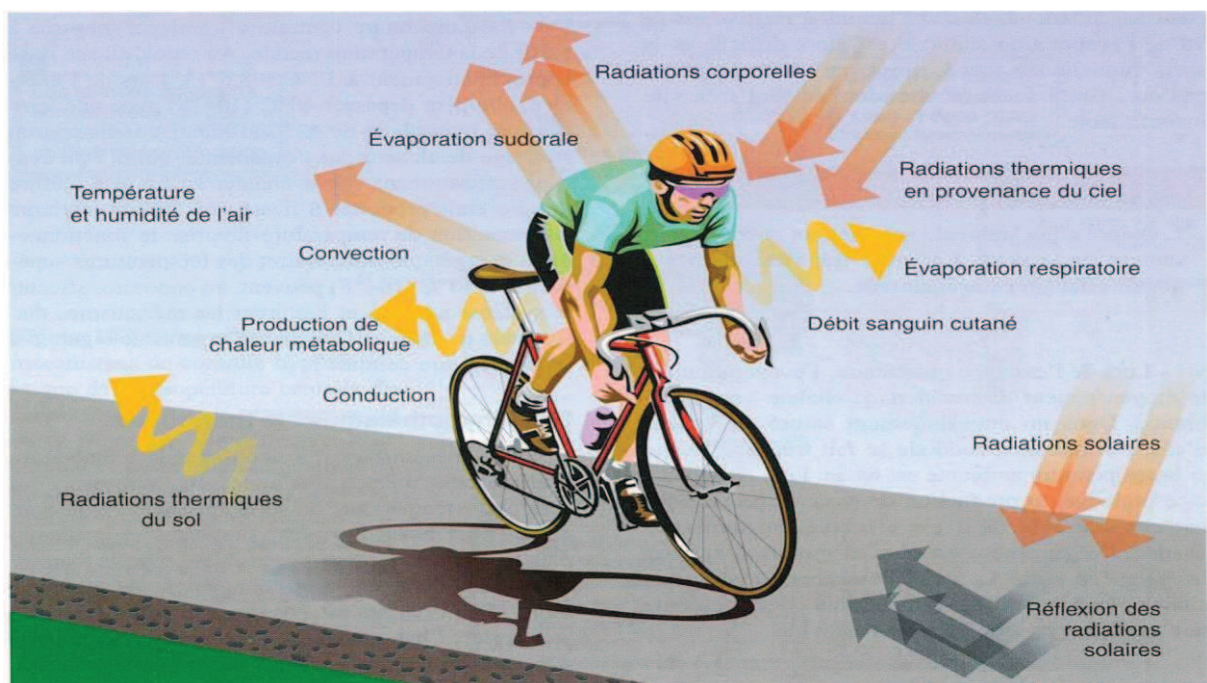


Figure B/ Échanges thermiques entre le corps humain et son environnement (Gisolfi & Wenger, 1984)

Dans des conditions climatiques « standard », la conduction et la convection représentent ensemble entre 15 et 20 % du total des échanges thermiques, la radiation 60 % et les 15 à 20 % restants sont dus à l'évaporation. Dans des conditions climatiques « chaudes »

et lors d'efforts physiques, l'évaporation augmente jusqu'à 80 % tandis que les autres mécanismes de transfert réunis n'atteignent qu'environ 20 %. Dans le cas d'un exercice physique, le système prédominant pour évacuer la chaleur est donc celui de l'évaporation (Figure C).

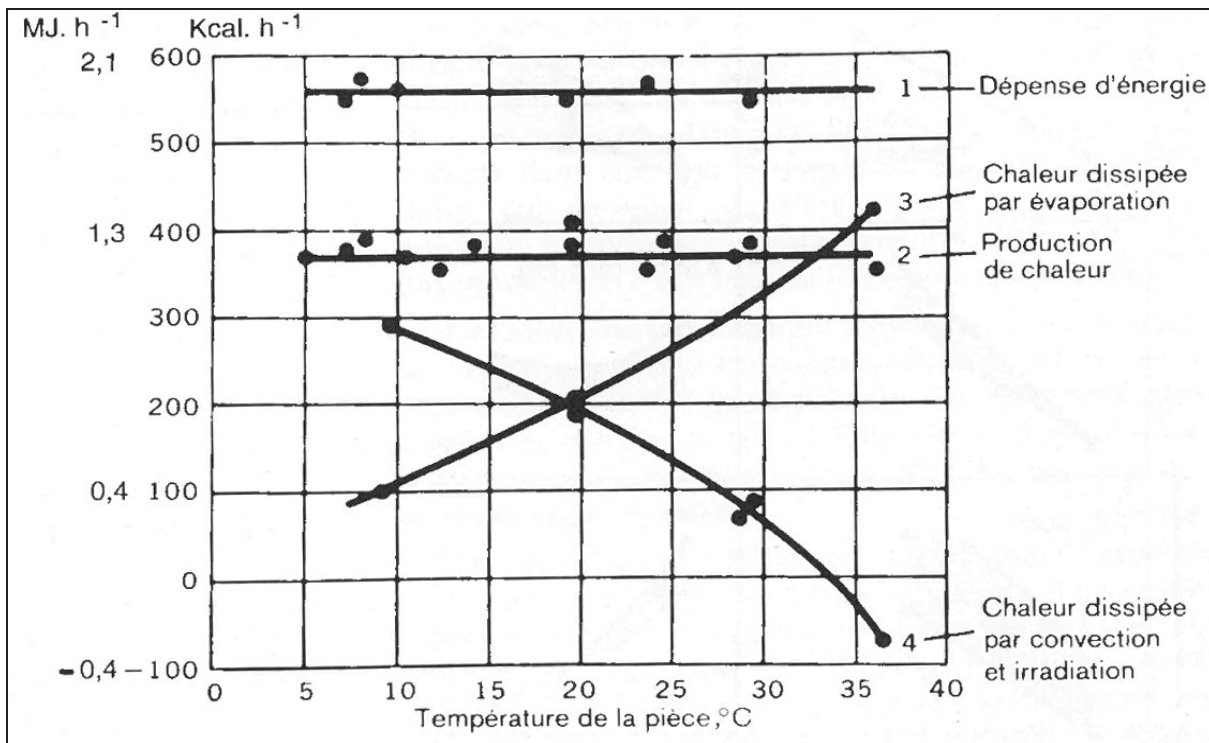


Figure C/ Température ambiante et échanges thermiques (Adapté de Nielsen, 1938)

Ainsi l'évaporation est le système majeur de la régulation de la chaleur corporelle de l'individu au cours de la réalisation d'un exercice physique et d'autant plus lorsque celui-ci est pratiqué dans des conditions climatiques chaudes. Ce moyen de transfert peut être altéré par une chaleur élevée associée à une présence importante de vapeur d'eau dans l'air, donc d'une humidité élevée ; ce qui va diminuer son efficacité à assurer sa fonction de régulation.

Les modifications physiologiques relevées pendant la pratique d'un exercice physique en milieu chaud sont :

- Une augmentation de la FC (Taggart et coll., 1972),
- Une augmentation de la production d'adrénaline (Taggart et coll., 1972),

- Une augmentation de la vasoconstriction cutanée (Johnson, 2010),
- Une augmentation de la sudation (Kurdak et coll., 2010),
- Une plus grande utilisation des glucides (Jentjens et coll., 2002 ; Mundel, 2008),
- Une baisse de la pression sanguine et une augmentation des résistances vasculaires (Crandall, 2008).

DANS LE CAS D'UN EXERCICE AÉROBIE

Les performances de type aérobique effectuées dans de telles conditions se voient généralement diminuées du fait de ces modifications physiologiques et de la lutte contre la chaleur.

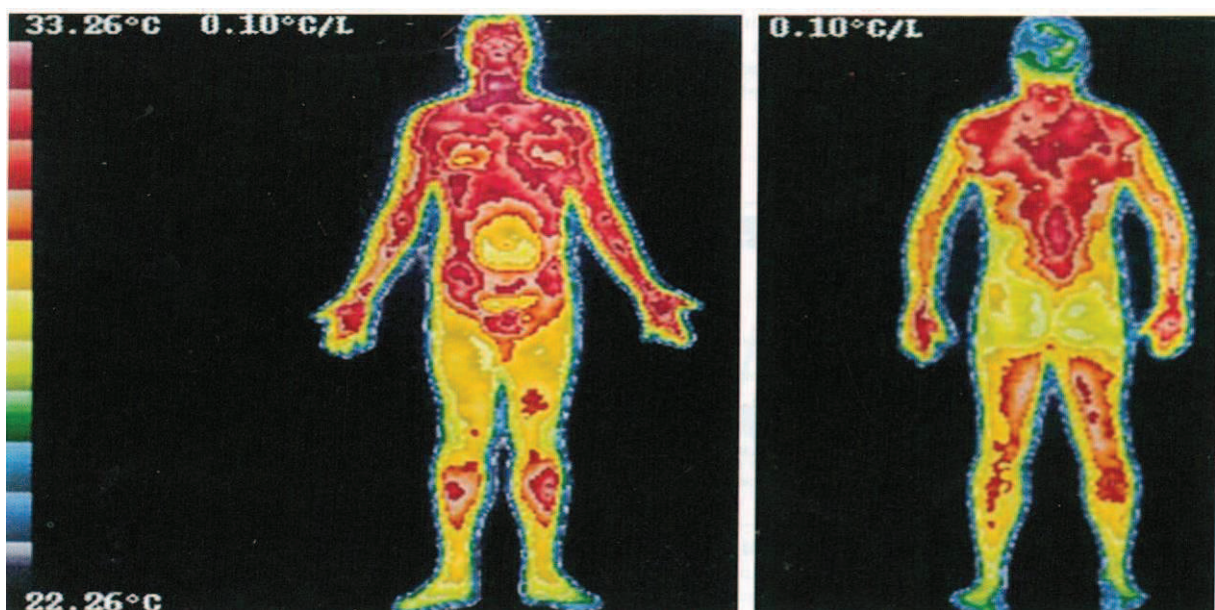


Figure D/ Images de thermographie d'un homme après l'effort et zones d'échange thermique

Comme cela a été présenté précédemment, la lutte contre la chaleur métabolique (Figure D), la lutte contre la chaleur ambiante et l'augmentation de la sudation dans un milieu humide, limitant cette évaporation, concourent communément à une baisse de la capacité physiologique à produire un effort maximal en comparaison avec des conditions dites normales, à température ambiante ou à la neutralité thermique (Maughan, 2010 ; Nybo, 2010 ;

Ozgunen et coll., 2010). Ce constat une fois fait, il faut alors trouver des moyens de lutter contre cette diminution de la performance, et permettre aux athlètes de recouvrer un niveau de performance qui se rapproche le plus possible de celui en conditions environnementales neutres (Figure E).

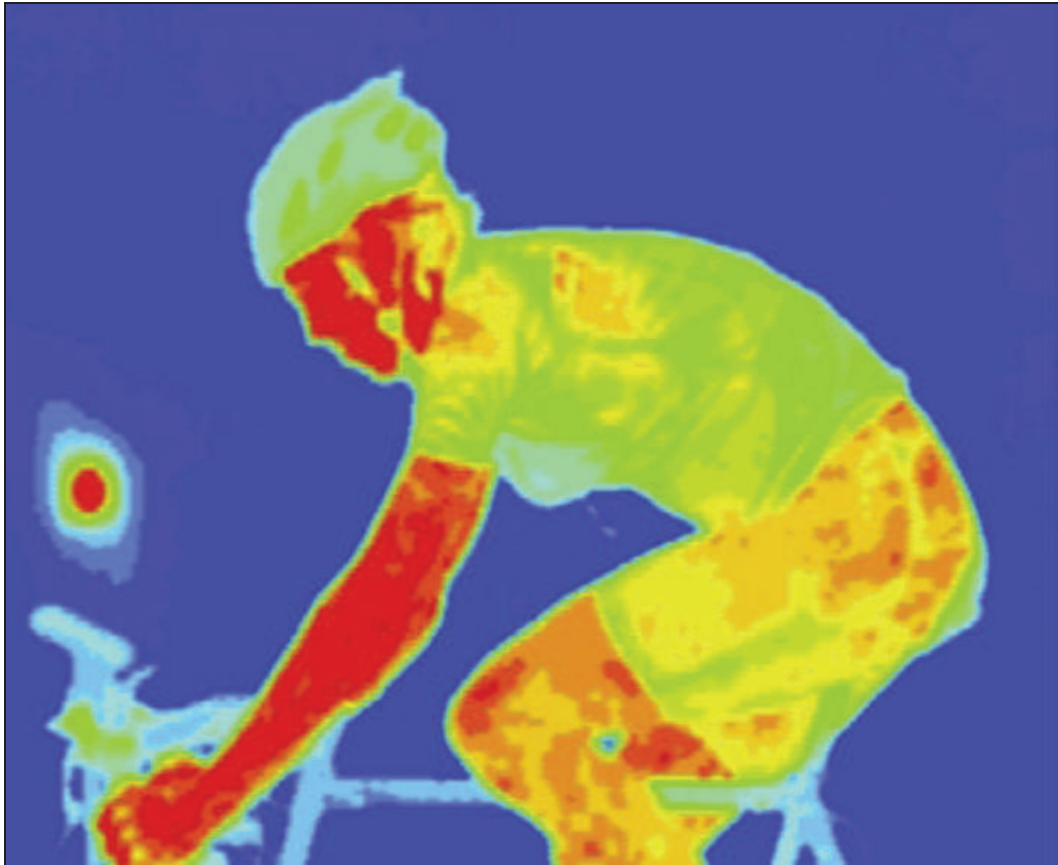


Figure E/ Image de thermographie d'un cycliste en plein effort à la neutralité thermique

DANS LE CAS D'UN EXERCICE ANAÉROBIE

Le test de Wingate est un test physique simple, non invasif, facilement reproductible et utilisable par une grande majorité de la population qui sert à mesurer la capacité anaérobie alactique et lactique d'un individu. Il consiste en la réalisation d'un exercice maximal de pédalage sur ergomètre, contre une résistance à charge constante, pendant trente secondes. L'influence de l'environnement, et de la température en particulier (Lacerda et coll., 2007), sur les performances effectuées au cours d'un test de Wingate a été étudiée. Il en résulte un

gain du pic de puissance, du temps de maintien de ce pic de puissance, avec l'augmentation de la chaleur ; et pour des températures relativement élevées, un gain de la cadence de pédalage et de la puissance moyenne (Dotan & Bar-Or, 1980). Ceci n'a cependant pas été observé par toutes les études qui, pour certaines, n'ont pas mesuré de modifications des différents indices de performance (Bar-Or, 1987 ; Backx et coll., 2000 ; Cheung & Robinson, 2004). Une relation entre la chaleur ambiante et la performance réalisée au cours d'un test de Wingate est cependant envisageable puisqu'avec l'utilisation du pré-cooling on observe une perte de puissance de 4 % pour chaque degré perdu au niveau des muscles sollicités (Crowley et coll., 1991). Cependant, différentes études montrent des résultats contrastés sur les effets de la température sur ce type spécifique de test anaérobie (Marsh & Sleivert, 1999 ; Sleivert et coll., 2001 ; Schniepp et coll., 2002 ; Cheung & Robinson, 2004 ; Castle et coll., 2006 ; Imai et coll., 2011).

QUELLE PLACE POUR LES ASPECTS PERCEPTIFS DANS CE TYPE D'ENVIRONNEMENT ?

LA PERCEPTION DE LA TEMPÉRATURE

La perception de la température est une estimation du ressenti thermique d'un individu. Cette perception est un préalable à l'évaluation du confort thermique qui se définit comme étant « *cet état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique* » (ISO 7730, 2005). Afin d'effectuer cette estimation, il est nécessaire d'interroger l'individu sur son propre ressenti à l'aide de différentes échelles de perception.



Figure F/ Feeling Scale modifiée pour la perception de la température (Hardy & Rejeski, 1989)

Parmi ces échelles figure la Feeling Scale (FS) de Hardy & Rejeski (1989) (Figure F), modifiée pour la perception de la température, et la Predicted Mean Vote index scale (PMV) de l’American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE, 1996) (Figure G). Ces deux échelles sont basées sur le même principe : composées respectivement de 11 et 7 items où les valeurs négatives extrêmes (-5 et -3) correspondent à des sensations de froid intense, et les valeurs positives extrêmes (+5 et +3) à des sensations de chaleur intense et les valeurs 0 correspondant à la neutralité thermique.

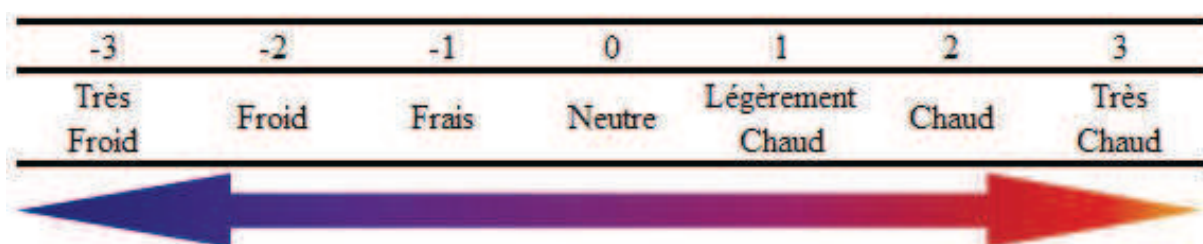


Figure G/ Predicted Mean Vote index scale (PMV) (ASHRAE, 1996)

Lors d’une exposition passive à la chaleur ambiante, le confort thermique s’est dégradé de manière significative et avec une relation positive entre ces deux variables (Simmons et coll., 2008 a). Au cours d’un exercice physique on relève cet indicateur afin de savoir comment l’individu perçoit les perturbations induites par des facteurs thermiques (corporel, environnemental) sur la réalisation de cet exercice. De fait, on observe que l’activité physique augmente la chaleur d’un individu, que ce soit au niveau cellulaire, central ou périphérique. Ces échelles permettent d’analyser l’évolution du ressenti de la température par l’individu au cours d’un exercice physique.

Différentes études menées sur l'utilisation du pré-cooling ont utilisé des échelles de perception de la température pour mesurer l'effet du pré-cooling sur la sensation de chaleur (Lee & Haymes, 1995 ; Wilson et coll., 2002 ; Arngrimsson et coll., 2004). Ces études font état d'une augmentation de la perception de chaleur avec l'augmentation de la durée de l'exercice dans les conditions de contrôle, mais cette augmentation était limitée dès lors que l'on appliquait un protocole de pré-cooling aux athlètes. Cette différence semble plus significative en début d'exercice d'endurance, et tend à se réduire à la fin de ce même exercice.

PERCEPTION SUBJECTIVE DE L'EFFORT

L'échelle de perception subjective de l'effort (RPE 6-20) publiée par Borg (1970) (Figure H) permet de mesurer le niveau de pénibilité perçue par un individu à partir de son ressenti et de son expérience passée et ce, pour des populations saines ou pathologiques.

Cette échelle montre la relation entre les facteurs physiologiques et psychologiques qui interagissent durant la réalisation d'un effort physique ; et ce, d'autant plus que sa pénibilité est importante. En effet la perception subjective de l'effort (PSE) est reconnue comme étant un indicateur direct du stress physique et indirect de la capacité de travail physique (Borg & Noble, 1974). Ainsi cette échelle permet d'observer l'évolution de la pénibilité de l'exercice et de l'état de fatigue d'un individu (Borg & Noble, 1974 ; Garcin et coll., 1998 a, b). Cette PSE peut être définie comme étant « *l'intégration de nombreux signaux provenant de nombreux récepteurs et localisés à de nombreux endroits dans le corps [...] et sa compréhension est dépendante en grande partie des conditions particulières de l'exercice* » (Henriksson et coll., 1972).

How Hard Do You Feel This Exercise Is?	
6	
7	Very, very light
8	
9	Very light
10	
11	Fairly light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Very, very hard
20	

Figure H/ Échelle de perception subjective de l'effort (RPE 6-20) (Borg, 1970)

Cette échelle de perception a été utilisée pour mesurer l'impact de différents types d'exercices sur le ressenti psychophysiologique de l'individu au cours de la réalisation d'un exercice physique. Ainsi pour des exercices à charges constantes (Garcin et coll., 1998 b) comme pour des exercices à intensités variables, les auteurs ont observé que cette échelle est un bon indicateur de la pénibilité de la tâche effectuée, mais qu'elle permet aussi d'estimer l'intensité de cet exercice. Il est préférable dans ce cas de s'intéresser uniquement à la fatigue

ressentie par les muscles (fatigue musculaire) et non plus à celle perçue par tout l'organisme (fatigue globale).

Cependant, aucune étude n'a encore fait état d'une quelconque relation entre le niveau d'effort perçu et le confort thermique dans des conditions environnementales identiques.

INTERDÉPENDANCES ENTRE PHYSIOLOGIE-PERCEPTION

À l'origine comportant 21 items (21-graded rating scale ; Borg, 1961), Borg trouvait une forte relation ($r = 0,83$) entre les scores de RPE-21 et la FC des sujets observés (charpentiers et jeunes bucherons, $n = 236$). Borg observait lors de ses études qu'à une intensité de 17 sur cette échelle RPE, correspondait une FC de 170 bpm lors d'un exercice progressif de pédalage. En émettant l'hypothèse qu'un groupe de sujets jeunes voyait sa fréquence cardiaque passer de 60 à 200 bpm lors d'un exercice progressif de pédalage jusqu'à l'épuisement, il fit évoluer son RPE-21 à un RPE-15 afin d'obtenir une relation quasi-linéaire entre FC et RPE : $FC = RPE \times 10$.

Cependant cette relation ne semble pas valide lors d'exercices à charge constante ou à hautes intensités (Garcin et coll., 1998 b). Les travaux de Martin & Andersen (2000) montrent effectivement que cette relation évolue en fonction de la pénibilité des exercices et notamment lors d'une période d'affûtage.

Edwards et coll. (1972) ont établi une autre relation entre les données perceptives et une autre donnée physiologique (lactatémie) : $Lactatémie (mmol.L^{-1}) = 0,64 \times RPE (6-20) - 4,6$. Plus récemment, Scherr et coll. (2012) ont de nouveau établi une forte corrélation entre PSE et FC ($r = 0,74$) et entre PSE et la lactatémie ($r = 0,83$) sur une population de 2560 sujets suite à des épreuves à intensité croissante (épreuve de « step », pédalage et course sur tapis) jusqu'à épuisement. Du fait de l'âge de la cohorte utilisée pour cette étude (17 – 44 ans), leur conclusion était que les valeurs de PSE variaient indépendamment du genre et de l'âge des sujets. Ces corrélations sont étroitement sont proches de celles trouvées par Steed et coll.

(1994), qui ont trouvé une forte corrélation ($r = [0,79 ; 0,98]$) entre les valeurs de RPE et la lactatémie lors d'efforts submaximaux.

D'autres données physiologiques ont été étudiées (Alberton et coll., 2011) en lien avec les valeurs de PSE, comme la $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = 0,71$) et le $\dot{V}E$ ($r = 0,77$). Dans la même étude, les auteurs ont également étudié l'activité électromyographique (EMG) mais n'ont trouvé aucune relation significative entre les valeurs de PSE et l'activité EMG des muscles de la cuisse.

Lors de l'exécution d'efforts dans des conditions climatiques de chaleur extrême ou de fraîcheur, cette échelle reste un indicateur fiable de l'estimation de la fatigue. On observe seulement des valeurs de PSE plus basses dans des ambiances climatiques neutres (18 °C – Green et coll., 2007 a ; 21 °C - Green et coll., 2007 b ; 24 °C – Maw et coll., 1993) ou froides (8 °C - Maw et coll., 1993), et des valeurs de PSE plus élevées dans des conditions chaudes (30 °C – Green et coll., 2007 a ; 32,5 °C – Green et coll., 2007 b ; 40 °C – Almudehki et coll., 2012). On constate aussi un effet bénéfique du pré-cooling car les valeurs de PSE relevées sont moins élevées pour un sujet utilisant le pré-cooling comparé à un sujet qui n'a pas recours à cette technique (Arngrimsson et coll., 2004 ; Booth et coll., 1997) au début d'un exercice physique de type aérobie. Cependant les valeurs de PSE relevées ne sont plus différentes à la fin de cet exercice.

Des études ont montré que des interactions existaient entre les différentes valeurs perceptives et les données physiologiques lors d'effort, ou d'exposition à des chaleurs importantes. Morante et coll. (2007) avaient étudié les effets d'un environnement chaud sur les valeurs perceptives de confort thermique et d'exercice montrant que lors de fortes chaleurs, ces deux valeurs perceptives augmentaient de manière concomitante.

Les relations existantes entre températures centrales et/ou cutanées et les données perceptives ne sont quant à elles pas encore toutes élucidées ou alors de manière indirecte. En

effet, s'il a été démontré qu'il existait une relation étroite entre PSE et la température centrale (Simmons et coll., 2008 a, b), et entre confort thermique et température cutanée (Vernieuw et coll., 2007), une relation impliquant le confort thermique et la température centrale ne semble pas avoir été largement étudiée (Cheung, 2010). De même, les relations concernant les valeurs de PSE avec la température cutanée (Armada-da-Silva et coll., 2004) n'ont été que suggérées.

PAR QUELS MOYENS CONTRER CES EFFETS DÉLÉTÈRES ?

MÉTHODE GLOBALE - ACCLIMATATION

Pour remédier à ces effets, l'organisme va s'acclimater avec le temps (Gisolfi & Robinson, 1969 ; Nielsen et coll., 1993 ; Gleeson, 1998 ; Nielsen, 1998 ; Wendt, 2007).

Il faut entre sept et douze jours pour que l'organisme retrouve un fonctionnement presque normal lui permettant ainsi de réaliser un exercice physique de façon optimale (Nielsen, 1998 ; Castle et coll., 2011 ; Kuennen et coll., 2011).

L'acclimatation va provoquer un ensemble d'adaptations, notamment :

- une augmentation du nombre de glandes sudorales actives (Nielsen, 1998),
- une excrétion sudorale plus précoce, plus importante et plus régulière (Buono et coll., 2009),
- une diminution de la température cutanée et centrale (Sunderland et coll., 2008),
- une augmentation du plasma et des liquides extracellulaires (Lorenzo et coll., 2010),
- un meilleur débit cardiaque (Lorenzo et coll., 2010),
- une FC diminuée (Epstein et coll., 2010 ; King et coll., 1985),
- un volume d'éjection systolique augmenté (Lorenzo et coll., 2010),
- une amélioration de la sensation de confort (Sunderland et coll., 2008),
- une augmentation de l'activité de certaines hormones (Nielsen, 1998).

Malheureusement, il a été montré récemment que cette acclimatation passive bien qu'engendrant des adaptations physiologiques ne permettait pas, lors de contractions musculaires volontaires, de réduire la fatigue centrale ou périphérique engendrée par l'environnement (Brazaitis et coll., 2010 b).

Généralement, une évaluation des conditions climatiques environnementales est effectuée afin de savoir dans quel milieu l'individu va évoluer. Pour cela, on utilise un Wet Bulb Globe Temperature (WGBT) (Gleeson, 1998) ou un indice de stress thermique de type Humidex (Figure I). Connaître les conditions environnementales permet de prévoir, en partie, comment un individu va réagir face à un stress thermique donné et aussi savoir quels sont les risques qu'il encourt ; et ce, indépendamment du niveau d'acclimatation du sujet. Il existe trois risques majeurs : les crampes, l'épuisement thermique et le coup de chaleur (Noakes, 1998). La possibilité que l'un de ces risques survienne est augmentée avec l'élévation de la température et plus encore avec l'élévation de la température associée à celle de l'humidité.

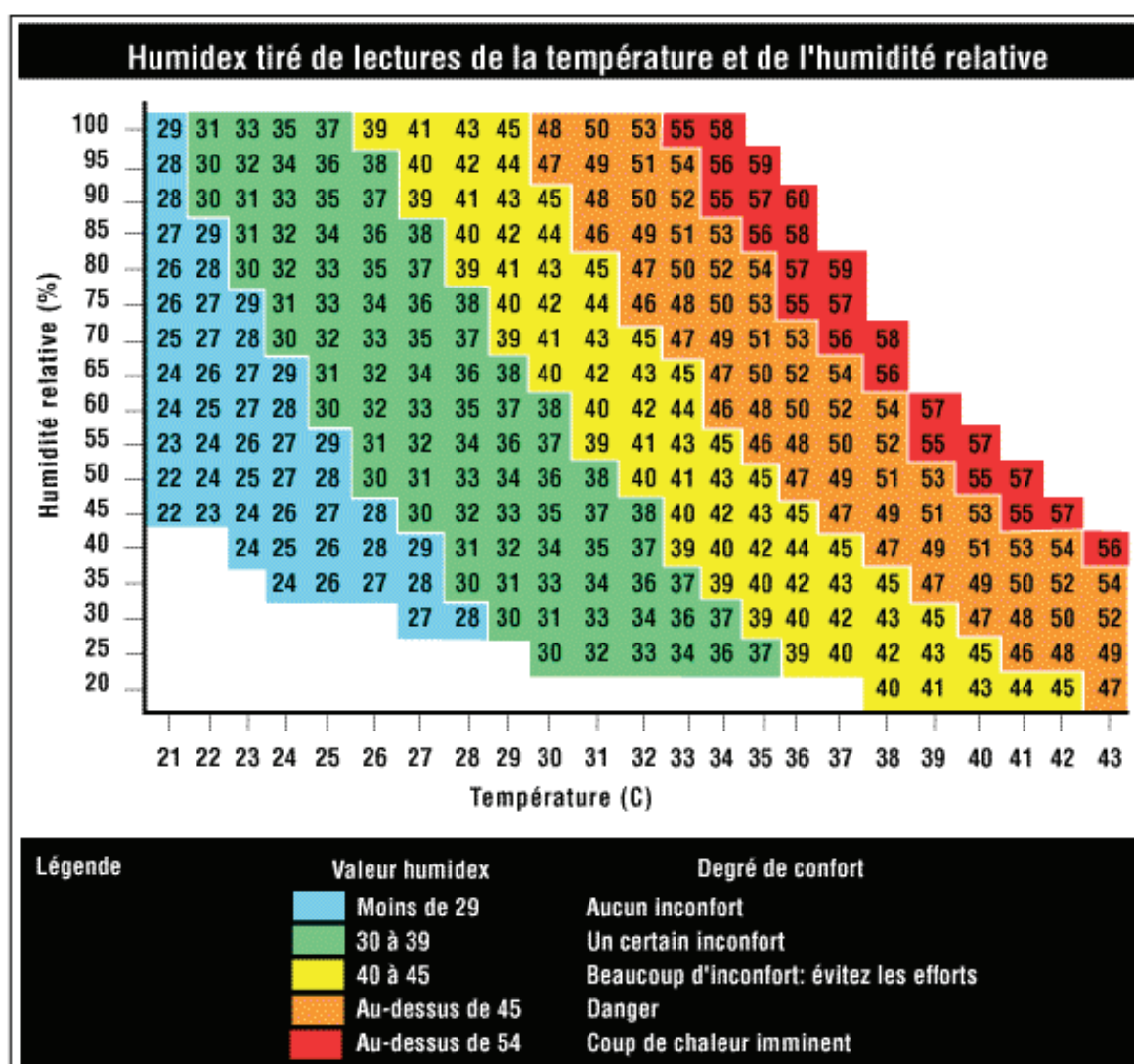


Figure I/ Humidex, échelle du degré de confort selon la température et l'humidité relative (Masterson & Richardson, 1979)

MÉTHODE TEXTILE / MATÉRIELLE – STRATÉGIE D'HABILLEMENT

Un autre moyen de contrôle de ces effets délétères sur la performance dus aux conditions environnementales chaudes et humides est d'adapter sa stratégie d'habillement vis-à-vis de la discipline : port de vêtements dits plus aérés, différenciation des matériels utilisés pour la confection des vêtements, du pourcentage de couverture du corps (Gonzalez, 1987).

Parallèlement à cette stratégie d'habillement se distingue la possibilité selon les activités sportives d'adopter des casques, protections ou matériels aux propriétés thermiques, ou de conduction thermique différente.

Le principe, dans ces deux cas de figure, étant de minimiser l'impact du stress thermique des vêtements, et d'en limiter le frein à la dissipation de la chaleur, comme il est possible de le voir dans la Figure A. Dès lors que l'athlète peut s'affranchir d'un vêtement supplémentaire, en accord avec le règlement de la discipline et dans les limites des règles de sécurité, cette stratégie entre en ligne de compte.

MÉTHODE HYDRIQUE – HYPERHYDRATATION

Ce principe vise à hyper-hydrater un athlète en prévision des fortes pertes hydriques dues à une température élevée et à l'augmentation de la sudation au cours de l'exercice (Goulet et coll., 2008).

Cette hyperhydratation a 2 impacts sur le corps humain : la limitation de la déshydratation et la baisse de la température interne par l'ingestion d'un liquide à température inférieure à la température centrale.

MÉTHODE THERMIQUE – ABAISSEMENT DE LA TEMPÉRATURE CENTRALE ET CUTANÉE

Il s'agit de faire baisser la température centrale et/ou cutanée par des moyens externes tels que :

- Par l'ingestion de liquide / solides à des températures plus basses que celle de la température interne (Siegel et coll., 2010 ; Stanley et coll., 2010),
- Par des moyens chimiques comme avec l'utilisation du menthol / L-Menthol (Gillis et coll., 2010 ; Mündel et coll., 2010),
- Par l'immersion (corps entier, tête, membres supérieurs ou membres inférieurs) ou l'aspersion (douche) d'eau froide (Bolster et coll., 1999 ; White et coll., 2003),
- Par le port de vêtements réfrigérants comme une veste, un T-shirt, ou des combinaisons réfrigérantes (Uckert & Joch, 2007 ; Price et coll., 2009),

- Par exposition à des conditions climatiques diamétralement opposées comme dans le cadre de la cryothérapie corps entier dans une chambre cryogénique (-110°C) (Banfi et coll., 2010 ; Hausswirth et coll., 2011 ; Costello et coll., 2012) ou dans des chambres climatiques « froides » (Hessemer et coll., 1984 ; Olschewski & Bruck, 1988).

LE COOLING : PRINCIPES GÉNÉRAUX

LE PRÉ-COOLING

Le pré-cooling est une technique qui consiste à refroidir le corps d'un individu avant, et voire pendant, un exercice physique (Marino, 2002 ; Quod et coll., 2006 ; Luomala et coll., 2011). Plusieurs zones d'application du froid sont privilégiées : à savoir les membres inférieurs, le haut du corps et/ou la totalité du corps. Il existe différentes méthodes de pré-cooling (Marino, 2002 ; Quod et coll., 2006), qui sont réparties en trois catégories en fonction de la nature du froid appliqué, et subdivisées en différentes modalités, en fonction de leurs modes d'application. Ces trois catégories de pré-cooling reposent sur l'utilisation de l'eau, froide ou sous forme de glace, et de l'air frais. Les différentes modalités sont, pour la première et seconde catégorie, l'immersion dans de l'eau froide, une application locale de glace et le port de vêtement(s) refroidissant(s) ; et pour la troisième catégorie par ventilation et par utilisation de salle cryogénique.

Le pré-cooling a été mis au point en vue de lutter contre les effets délétères liés à l'augmentation de la chaleur corporelle d'un individu au cours d'un exercice physique. Son intérêt porte sur l'amélioration de la capacité d'un individu à évacuer la chaleur (Wilson et coll., 2002 ; Arngrimsson et coll., 2004) et sur l'amélioration de la performance lors d'un exercice (Booth et coll., 1997 ; Gonzalez-Alonso et coll., 1999). Le pré-cooling est d'autant plus important que la durée et l'intensité de l'exercice physique augmentent, que les

conditions environnementales deviennent chaudes, et plus encore quand les conditions deviennent chaudes et humides. En effet, l'association de ces deux variables (chaleur et humidité) est considérée comme la contrainte environnementale la plus exigeante pour l'organisme.

Les études menées sur le pré-cooling ont montré une diminution de la température corporelle de l'individu au cours de l'exercice, que ce soit au niveau rectal (Booth et coll., 1997 ; Wilson et coll., 2002), œsophagien (Gonzalez-Alonso et coll., 1999 ; Mitchell et coll., 2003), cutané (Lee & Haymes, 1995 ; Cheung & Robinson, 2004) ou de la moyenne du corps (Kay et coll., 1999 ; Marsh & Sleivert, 1999). Dans ces différentes études, la diminution de la température varie avec le site de la mesure : elle est comprise entre 0 et 0,7 °C au niveau rectal, entre 0,17 et 1,0 °C au niveau œsophagien, et reste très variable au niveau cutané, que ce soit en un point précis, ou en moyenne du corps entier. Ces baisses de températures sont aussi dépendantes des techniques de pré-cooling utilisées (Marino, 2002 ; Quod et coll., 2006).

La diminution de la température corporelle est notamment corrélée avec : une augmentation de la distance parcourue durant un temps donné (Booth et coll., 1997 ; Kay et coll., 1999), une diminution du temps pour une distance donnée (Arngrimsson et coll., 2004), un délai plus long avant l'arrêt de l'exercice (Lee & Haymes, 1995 ; Gonzalez-Alonso et coll., 1999) ou une augmentation de la puissance (Castle et coll., 2006). Il reste à démontrer si les gains les plus prononcés en termes de performance sont obtenus par la baisse la plus importante de température corporelle (Quod et coll., 2006).

Cependant, différentes études ont montré une absence de gain de performance ou de puissance voire même une diminution de celles-ci après l'utilisation du pré-cooling (Crowley et coll., 1991 ; Mitchell et coll., 2003 ; Cheung & Robinson, 2004). Ces études ont porté sur l'utilisation du pré-cooling dans des exercices de type anaérobie. Les travaux de recherche

menés sur la capacité anaérobie tendent à montrer que les efforts de ce type permettent de développer une puissance supérieure sans pré-cooling. En revanche, lors d'une répétition d'exercices anaérobies, il semble y avoir un intérêt au pré-cooling (Castle et coll., 2006).

Les nombreuses études traitant du pré-cooling ont généralement mesuré d'autres variables que les seules modifications de la température ou de la performance réalisée au cours de leurs expériences. Les variables qui sont principalement mesurées sont d'ordre physiologique (Gonzalez-Alonso et coll., 1999 ; Arngrimsson et coll., 2004 ; Cheung & Robinson, 2004) et perceptif (Wilson et coll., 2002 ; Daanen et coll., 2006 ; Mündel et coll., 2007). Les variables d'ordre physiologique ont comme intérêt d'apporter des indications supplémentaires sur les modifications réalisées par l'organisme en réponse au refroidissement induit par le pré-cooling. Les variables d'ordre perceptif permettent d'apporter des indications sur le ressenti du sujet, que ce soit par exemple sur le niveau de pénibilité perçue de l'exercice physique et de sa performance réalisée ou sur son confort thermique.

Certaines de ces variables semblent influencées par le pré-cooling ; à savoir, la FC (Lee & Haymes, 1995 ; Booth et coll., 1997 ; Gonzalez-Alonso et coll., 1999 ; Duffield & Marino, 2007), la PSE (Marsh & Sleivert, 1999), le confort thermique (Wilson et coll., 2002 ; White et coll., 2003) ou plusieurs d'entre elles en même temps (Arngrimsson et coll., 2004 ; Daanen et coll., 2006 ; Mündel et coll., 2007). En effet, les valeurs perceptives mesurées après application du refroidissement sont plus basses que celles obtenues sans ; et ce, dans les conditions expérimentales choisies. Cette baisse est observée, avant et pendant l'exercice ; mais elle n'est souvent plus significative à la fin de l'exercice. Par ailleurs, on peut constater que cette baisse n'est pas retrouvée dans toutes les études. En effet, que ce soit pour la FC (Olschewski & Bruck, 1988 ; Marsh & Sleivert, 1999), la PSE (Booth et coll., 1997 ; Kay et coll., 1999), le confort thermique ou pour plusieurs de ces variables en même temps (Wilson

et coll., 2002 ; Cheung & Robinson, 2004 ; Castle et coll., 2006 ; Duffield & Marino, 2007), il n'a pas été observé de modifications de ces variables.

De fait, les mécanismes mis en œuvre dans le pré-cooling sont encore mal connus. De plus, la plupart des travaux réalisés dans ce domaine ont été effectués en laboratoire et rarement auprès d'athlètes de haut niveau.

LE POST-COOLING

L'une des préoccupations des athlètes de haut niveau est le temps limité disponible pour la récupération entre les entraînements ou à l'approche des compétitions. Ainsi, un volume d'entraînement excessif ou des compétitions trop rapprochées, diminuant le temps de récupération, peuvent engendrer de fortes contraintes psychologiques et physiologiques qui ont pour effet de minimiser la performance. Afin d'améliorer cette récupération, différentes méthodes de refroidissement corporel ont été explorées après ou entre les efforts (post-cooling) (Yeargin et coll., 2006 ; Barwood et coll., 2009 ; Brade et coll., 2010 ; Costello et coll., 2012). Le post-cooling est généralement utilisé comme moyen de récupération lorsque les athlètes sont dans des conditions de chaleur importante et qu'il leur faut récupérer au plus vite une température centrale et/ou périphérique normale. De plus, l'utilisation de cette méthode permettrait de réduire les douleurs, notamment aux membres inférieurs, ainsi que les dommages musculaires (Howatson & Van Someren, 2003 ; Quod et coll., 2006 ; Hausswirth et coll., 2011). Les techniques de refroidissement utilisées sont variées et font appel à des moyens matériels très différents qui induisent des conditions thermiques elles-aussi différentes. De l'utilisation d'un ventilateur créant une augmentation de l'évaporation, d'une veste de refroidissement diffusant des températures de 4 à 10°C, de l'immersion en eau froide entre 10 et 21°C, ou d'une chambre cryogénique diffusant un froid de -110°C, ces méthodes diffèrent toutes dans les modes d'action et les résultats attendus. Néanmoins, même si de plus en plus d'athlètes sont amenés à utiliser le post-cooling comme moyen de récupération, son

efficacité reste discutée car la plupart des études n'ont pas précisément contrôlé l'intensité de l'exercice, les conditions environnementales, les réponses physiologiques et perceptives des sujets (Barwood et coll., 2009 ; Brade et coll., 2010) ou sont alors des combinaisons de différentes méthodes de cooling (De Pauw et coll., 2011).

Il serait possible de séparer les méthodes de refroidissement entre les méthodes à faible refroidissement et celles à fort refroidissement. La première catégorie rassemblerait l'exposition à un vent plus ou moins fort et les matériels de refroidissement personnels tels que les vestes, bandeaux ou gants ; dans la seconde catégorie se trouveraient les immersions partielles ou complètes dans des eaux froides ou glacées ($< 18^{\circ}\text{C}$) et les expositions à des températures négatives (-110°C) en chambre cryogénique. Cette dernière catégorie a été largement étudiée concernant des effets physiologiques lors de la récupération de dommages musculaires induits par l'exercice (Hauswirth et coll., 2011), comme sur l'activité antioxydante (Dugué et coll., 2005), sur l'activité hormonale (Smolander et coll., 2009) ou sur les fonctions respiratoires (Smolander et coll., 2006).

QUEL IMPACT DE LA CHALEUR SUR LES PATHOLOGIES ?

QUELLES SONT LES PATHOLOGIES CIBLÉES ?

Comme démontré précédemment, la thermorégulation est un phénomène physiologique multifactoriel impliquant plusieurs organes. Lors de sa régulation, l'afférence des informations cutanées se fait par signal nerveux, et l'efférence des commandes régulatrices se fait au travers de l'hypothalamus, organe situé à la base de l'encéphale, et commandant à la régulation hormonale. Afin d'assurer cette homéothermie, les centres intégrateurs du système nerveux central doivent obtenir des informations cohérentes de la part du système nerveux périphérique afin de déclencher une réponse hormonale ou nerveuse adéquate. Dans le cas de pathologies neurodégénératives, l'information afférente peut être

altérée et/ou la réponse efférente annulée ou amoindrie du fait de la dégénérescence des nerfs (Figure J). De même, un centre intégrateur endommagé peut avoir un traitement différent de celui d'un patient sain, induisant une réponse erronée ou inadéquate de la part des organes effecteurs. Parmi ces pathologies neurodégénératives connues, la Sclérose En Plaques (SEP) est définie comme étant une pathologie neurodégénérative dont le mécanisme est une dégénérescence nerveuse progressive et évolutive. Plus particulièrement, c'est une attaque auto-immune des oligodendrocytes et les cellules de Schwann qui jouent un rôle primordial dans la production et la protection de la gaine de myéline qui entoure les axones des cellules nerveuses.

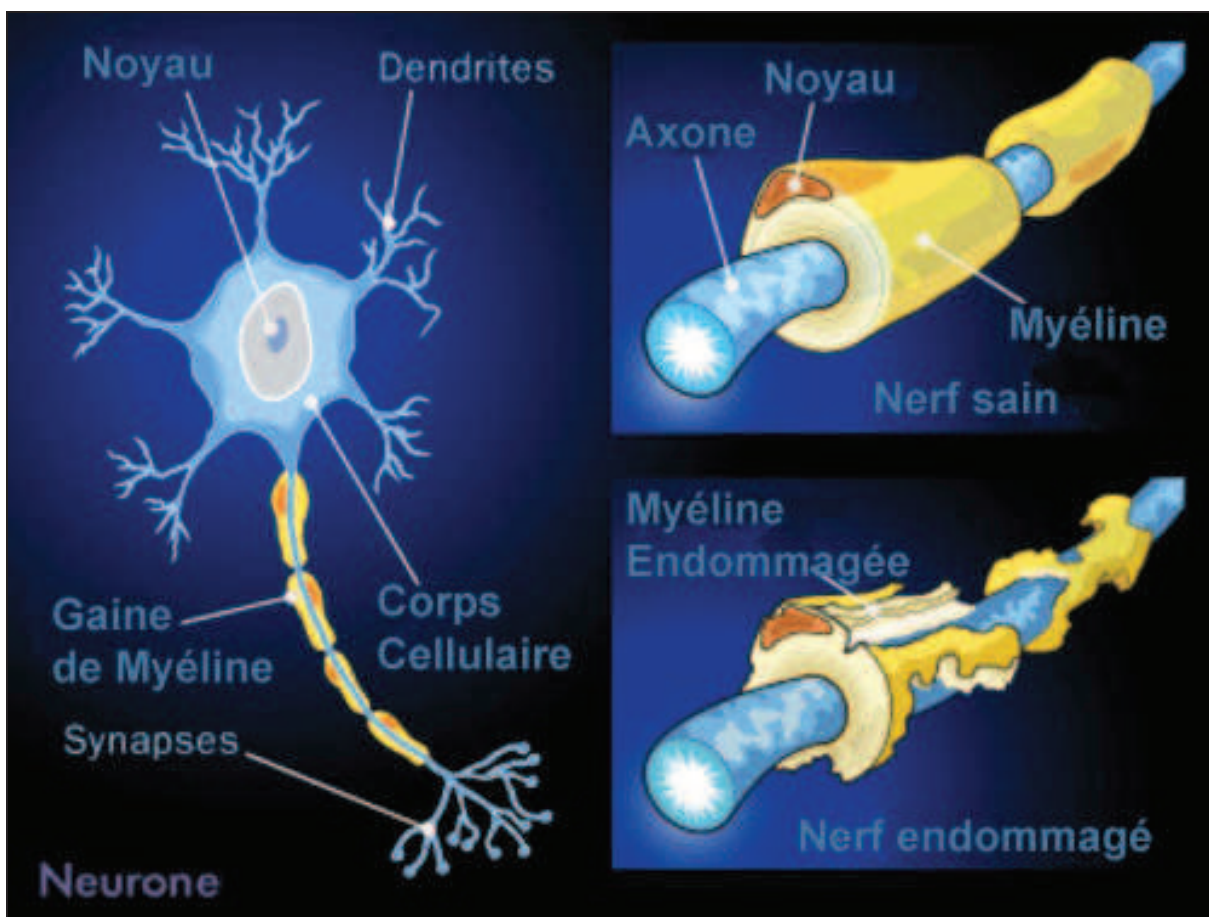


Figure J/ Gaine de myéline endommagée par la SEP (© 2007 HowStuffWorks)

LA SCLÉROSE EN PLAQUES

La SEP est une maladie nerveuse chronique qui touche en France environ 80 000 personnes. Plus de 2 000 nouveaux cas sont recensés chaque année. La majorité des patients touchés par cette maladie ont entre 20 et 50 ans et 2/3 d'entre eux sont des femmes (Edlich et coll., 2004). Freal et coll. (1984) ont montré suite à une enquête menée auprès de 656 patients que 78 % des patients observés ressentent une fatigue symptomatique. Parmi ces patients :

- 90 % éprouvent le besoin de se reposer,
- 43 % ont envie de dormir,
- 48 % ressentent une aggravation des symptômes de la SEP,
- 60 % sont fatigués l'après midi et le soir,
- 47 % ressentent une fatigue qui peut durer de 6 à 24 heures,
- 83 % ressentent une fatigue importante après un effort vigoureux,
- 64 % ressentent une fatigue importante après un effort modéré,
- 15 % affirment qu'un exercice léger contribue à atténuer cette fatigue.

Symptômes

Différents symptômes ont été observés chez les patients, notamment des troubles de la locomotion affectant 95 % des patients (Scheinberg et coll., 1980), ce qui augmenterait significativement les risques de chute (Cattaneo et coll., 2002). La spasticité au niveau des membres inférieurs et supérieurs est observée auprès de 75 % des patients (Pélissier et coll., 2001 ; Nilsagard, 2006 ; Pöllmann & Feneberg, 2008). Quand les membres supérieurs sont affectés, on observe des troubles de la motricité fine et de la dextérité (Theys et coll., 1999 ; Cooper et coll., 2000 ; Feys et coll., 2005 ; Meyer-Heim et coll., 2007). Des troubles de la vision (Galvin et coll., 1976 ; Davis et coll., 2008), de l'audition (Pringle et coll., 1995), et de la circulation (Lau et coll., 1995 ; Hahn et coll., 1996) ont également été rapportés.

Influence de la chaleur

De nombreux auteurs (Petrilli et coll., 2004 ; MacAllister & Krupp, 2005 ; Béthoux, 2006 ; Tataru et coll., 2006 ; Pöllmann & Feneberg, 2008) ont montré que ces symptômes pouvaient être aggravés dans un environnement chaud et qu'approximativement 80 à 90 % des patients seraient concernés (Freal, 1984 ; Guthrie & Nelson, 1995).

Refroidissement corporel

En réponse à ce constat, différents travaux ont tenté de contrôler la température corporelle des patients en vue d'en diminuer la symptomatologie. Symington et coll. (1977) ont observé qu'en provoquant une hypothermie modérée (température centrale à 33 °C), on pouvait soulager temporairement les patients. Par la suite de nombreuses études ont confirmé les effets du refroidissement notamment :

- sur la motricité et la spasticité (Beenaker et coll., 2001 ; Schwid et coll., 2003 ; Feys, 2005 ; Nilsagard et coll., 2006 ; Meyer-Heim et coll., 2007 ; Grahn et coll., 2008 ; Hidasi et coll., 2009 ; Miller et coll., 2010)
- sur les troubles neuromusculaires (Chaudhry et coll., 1993 ; Robinson et coll., 1997 ; Albrecht et coll., 1998),
- sur les troubles circulatoires (Geirsson et coll., 1994 ; Pringle et coll., 1995),
- sur les troubles visuels (Romani et coll., 2000),
- sur le niveau de fatigue perçue (Capello et coll., 1995),
- sur le confort et la mobilité des patients (Van Diemen et coll., 1992 ; Ku et coll., 1996, 1999 ; Flensner & Lindencrona, 2002).

Les mécanismes impliqués

La démyélinisation

En 1979, Brenneis et coll. avançaient l'hypothèse selon laquelle l'aggravation des symptômes neurologiques de la SEP dans un environnement chaud serait due au changement de conduction des fibres nerveuses démyélinisées et que l'une des possibilités d'atténuer ces symptômes pourrait être d'augmenter le seuil de blocage de cette conduction nerveuse qui dépendrait du pH, des électrolytes, des neurotransmetteurs et de la température centrale. Depuis, une majorité d'études semble confirmer cette hypothèse (Van Diemen et coll., 1992 ; Chaudhry et coll., 1993 ; Pringle et coll., 1995 ; Albrecht et coll., 1998 ; Theys et coll., 1999 ; Davis et coll., 2008 ; Zlochiver, 2010).

Motricité

Dans les symptômes de la pathologie, la motricité prend une part importante, car siège de l'autonomie et de la qualité de vie des patients. Cependant, depuis les premières descriptions des symptômes par Jean-Martin Charcot en 1868, la perte de cette motricité, généralisée ou fine, et la spasticité (Donzé & De Sèze, 2012) sont directement liés à la pathologie, et peu d'études (Meyer-Heim et coll., 2007) ont été menées à des fins d'amélioration de ces symptômes. La motricité reste essentiellement un marqueur de l'évolution de la pathologie, et semble directement liée à la démyélinisation du système nerveux central qui commande au système nerveux périphérique.

Cognition

De même que l'autonomie physique et les capacités de déplacement sont importantes (Beatty & Gange, 1977), la conservation d'un haut niveau de cognition est primordiale à la qualité de vie des patients. La mémoire, l'attention, les fonctions exécutives, la vitesse du traitement des informations et les capacités visuo-spatiales font partie de ces fonctions

impactées par la SEP (Guimarães & Sa, 2012). Dans d'autres circonstances que celles de la SEP, de faibles améliorations cognitives ont été observées suite à un refroidissement corporel (Bandelow et coll., 2010), et des altérations dans les performances cognitives sont apparues après une hyperthermie passive (Gaoua et coll., 2011). Les altérations observées dans la cognition sont étroitement liées aux lésions de la substance blanche (Yu et coll., 2012).

La prise en charge de la SEP

Une revue de littérature montre que la qualité de vie des patients est au cœur des préoccupations des chercheurs. Récemment, une étude longitudinale (7 ans) a suivi l'évolution de patients atteints de SEP sur l'évolution professionnelle, les performances cognitives et le niveau de santé perçu (Ruet et coll., 2012). Cette amélioration de la qualité de vie passe notamment par des thérapies non-médicamenteuses (Zwibel & Smrtka, 2011). Ainsi, une place grandissante est faite à l'activité physique (Kargafard et coll., 2012 ; Kjolhede et coll., 2012 ; Motl & Pilutti, 2012), aux aptitudes motrices fines (Meyer-Heim et coll., 2007) ou à l'équilibre (Nilsagard et coll., 2012). Les traitements par l'activité physique se multiplient et offrent des perspectives intéressantes, mais sont encore au stade des recherches exploratoires.

Différentes méthodes ont été utilisées à ce jour pour contrôler la température corporelle des patients comme l'immersion partielle ou totale (Schwid et coll., 2003 ; Petrilli et coll., 2004) ou la cryothérapie (Miller et coll., 2010). L'utilisation de vêtements rattachés à un circuit de refroidissement a été également testée et permettrait une baisse significative de la température orale de 0,3 à 0,7 °C (Capello et coll., 1995 ; Kinnman et coll., 2000 a, b). Dans une étude menée auprès de 6 patients thermosensibles, le port quotidien de ce vêtement durant 45 minutes a permis une amélioration significative de la motricité (Capello et coll., 1995). L'utilisation de ce vêtement à différentes température (13 °C vs 21 °C) a été testée par Schwid et coll. (2003) et montre que le port du vêtement à 13 °C comparé au vêtement à 21

°C permettrait une diminution significative de la température orale (0,3 °C vs. 0,4 °C, respectivement). Dans les deux cas, une amélioration de la motricité a été observée. Par ailleurs, dix patients thermosensibles ont testé ce vêtement à 7 °C durant une session de 60 minutes et ont fait état d'une diminution significative de leur perception de fatigue et de leurs douleurs musculaires (Beenaker et coll., 2001). Flensner et coll. (2002) ont montré également que ce type de vêtement améliorait la mobilité des patients notamment lors de la marche et favorisait leur niveau de récupération après un exercice. Cependant, le vêtement thermorégulant utilisé dans ces études était rattaché à un circuit de refroidissement ce qui limite totalement l'autonomie et la mobilité des patients.

En 2000, Ku et coll. ont testé, sur 26 patients, 3 vestes de cooling utilisant des technologies différentes : 2 vestes incluaient des poches de glace et une veste était constituée d'un système de refroidissement liquide actif. Les résultats ont montré que ce dernier apporte des améliorations plus marquées que les deux autres systèmes même si ceux-ci sont efficaces contre les effets délétères de la SEP. Meyer-Heim et coll. (2007) ont pu tester sur 20 patients un prototype de vêtement thermorégulant léger et basé sur les échanges thermiques provoqués par la transpiration. Les résultats montrent une amélioration significative de la motricité fine et de la marche.

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

PROBLÉMATIQUE

Il semblerait que les interactions disciplinaires et leurs effets sur les performances sportives ou physiques de différents sujets (sportifs ou patients) ne soient pas encore toutes connues. Dès lors, deux grandes problématiques se distinguent : la première concernant les stratégies existantes afin de minimiser les effets de l'environnement sur la performance sportive, et la seconde sur les possibilités que de telles stratégies offrent à des patients atteints de troubles neurologiques.

Au vu de la littérature, il apparaît qu'aucune étude n'a encore tenté de montrer l'intérêt de la combinaison de différentes techniques de refroidissement. Ainsi, quelles seraient les influences de la combinaison du pré-cooling et du post-cooling sur les réponses perceptives et physiologiques des athlètes et sur leur niveau de performance ?

De même, il semblerait que l'impact d'une stratégie de pré-cooling du haut du corps sur les performances d'un Wingate Test n'ait pas encore été mené. Dès lors, nous voulions connaître quelles seraient les effets du pré-cooling du haut du corps pendant un échauffement standardisé sur les réponses physiologiques et perceptives de cyclistes et sur leurs performances au cours d'un Wingate Test ?

De même, une des possibilités afin de lutter contre les effets délétères de l'environnement sur la performance est d'adapter son habillement à la pratique sportive ciblée. Ainsi, le port de maillots constitués d'une même matière, mais tissés selon des méthodes différentes, influence-t-il sur la performance ?

Si les effets du refroidissement cutané permettent une amélioration des performances motrices des athlètes, les personnes atteintes de troubles neurologiques liés à des troubles de la thermorégulation pourraient-elles bénéficier aussi de ces effets en particulier sur leurs aptitudes motrices et cognitives ?

HYPOTHÈSES

Notre première hypothèse est que le traitement par refroidissement appliqué aux athlètes dans des conditions climatiques de chaleur et d'humidité importantes aurait un effet bénéfique sur les performances en cyclisme et sur les réponses perceptives des sujets.

L'hypothèse suggérée concernant la stratégie d'habillement des cyclistes en conditions environnementales extrêmes de chaleur et d'humidité est que le port d'un maillot tissé avec des mailles plus larges engendrerait une réponse physiologique et perceptive moindre comparée aux maillots tissés avec des mailles plus serrées.

La dernière hypothèse est que les patients atteints de SEP verraient leurs capacités motrices et cognitives améliorées par le port d'un vêtement réfrigérant.

OBJECTIFS

Dès lors, il s'agissait de vérifier :

- i) Chez des athlètes, en combinant le pré-cooling et le post-cooling, l'efficacité d'une méthode de refroidissement sur leurs performances sportives et leur niveau de confort thermique,
- ii) La pertinence d'une stratégie d'habillement en étudiant différents types de maillots de cyclisme et leurs effets sur les réponses perceptives et physiologiques,
- iii) Chez des patients atteints de SEP, la possibilité de mise en œuvre d'un tel dispositif de refroidissement et les bénéfices potentiels en termes de confort thermique, de performances motrices et cognitives et, à moyen terme, sur la qualité de vie de ces patients.

TRAVAUX PERSONNELS

ÉTUDE N°1 : PRÉ-/POST-COOLING COMBINÉ

Le refroidissement corporel a-t-il une influence sur la récupération et la performance en cyclisme lors d'une course en contre-la-montre effectuée à une intensité autorégulée ?

INTRODUCTION

Les études citées dans l'introduction avaient pour but d'améliorer la performance humaine dans des conditions de haute température. De plus, elles ont examiné les effets du refroidissement corporel en pré-cooling en appliquant ce froid sur les membres inférieurs ou en immersion corps entier (Booth et coll., 1997 ; Kay et coll., 1999 ; Proulx et coll., 2003), en exposant le corps à de l'air froid (Lee & Haymes, 1995), ou grâce à des vêtements réfrigérants (Bogerd et coll., 2010 ; Brade et coll., 2010, 2013). D'une manière générale, démarrer une compétition avec un corps plus frais pourrait permettre aux athlètes d'améliorer leur capacité à stocker de la chaleur, et à atteindre un meilleur niveau de performance avant d'atteindre une température interne critique. Ce résultat pourrait expliquer, comparé à une condition contrôle, la différence significative observée de la température de la peau (Cheung & Robinson, 2004), de la température centrale (Marsh & Sleivert, 1999), ou des deux (Lee & Haymes, 1995 ; Booth et coll., 1997 ; Gonzalez-Alonso et coll., 1999 ; Kay et coll., 1999). Une baisse de la température corporelle est habituellement associée à une amélioration de la performance dans les exercices de type aérobie en augmentant soit la distance couverte en un temps donné (Booth et coll., 1999), soit la durée de l'exercice avant épuisement (Lee & Haymes, 1995 ; Gonzalez-Alonso et coll., 1999), ou la puissance moyenne développée (Marsh & Sleivert, 1999 ; Cotter et coll., 2001). Le pré-cooling à intensité contrôlée induit une baisse de la fréquence cardiaque (Lee & Haymes, 1995 ; Booth et coll., 1999 ; Gonzalez-Alonso, 1999 ; Quod et coll., 2006 ; Duffield et coll., 2010) et de la perception de l'effort (Booth et coll., 1999), tout en augmentant le confort thermique (White et coll., 2003).

La plupart des protocoles utilisés dans les études précédentes fixaient la vitesse ou la puissance à développer par les athlètes, et peu d'entre-elles ont examiné l'influence du pré-cooling sur un exercice à l'intensité autorégulée. Cependant, les protocoles d'échauffements effectués avant ce type d'exercice n'étaient pas détaillés (Booth et coll., 1999 ; Kay et coll., 1999), non contrôlés (Duffield et coll., 2010), ou partiellement contrôlés (Ross et coll., 2011). St Clair Gibson & Noakes (2004) suggéraient que l'allure adoptée lors de la course pourrait être contrôlée par un « gouverneur central » via des mécanismes de feedback et de feedforward en utilisant des informations concernant la température centrale, la pénibilité de l'exercice, les stocks d'énergie disponibles et l'équilibre hydrique. Étant donné que l'utilisation d'une technique de pré-cooling pendant la période d'échauffement pourrait donner de « fausses informations » à ce gouverneur central, comme cela a été récemment rapporté par Tyler et coll., 2010 ; Tyler & Sunderland (2011 a, b), la capacité à choisir une allure appropriée pourrait être altérée, ce qui pourrait affecter la régulation de l'effort.

La multiplication des séances d'entraînement et des compétitions, et ce dans un temps particulièrement court, peut imposer des grandes contraintes physiologiques et psychologiques. Pour cette raison, différentes méthodes de refroidissement corporel ont été initiées après ou entre les efforts ayant pour but d'améliorer la récupération des athlètes (Brade et coll., 2013 ; Barwood et coll., 2009). Le post-cooling peut se révéler efficace dans des environnements chauds comme moyen de récupération où la baisse de température centrale ou périphérique est attendue afin de retourner rapidement à la normothermie et/ou pour réduire les douleurs et dommages musculaires (Howatson & Van Someren, 2003). Néanmoins, si un nombre croissant d'athlètes utilisent le post-cooling lors de la récupération, l'efficacité de cette méthode reste incertaine du fait d'un manque de contrôle des intensités d'exercice, des conditions environnementales, des réponses physiologiques ou perceptives des

sujets (Barwood et coll., 2009 ; Brade et coll., 2010) ou du fait d'un mélange de méthodes utilisées (De Pauw et coll., 2011).

Ainsi, le but de notre étude était de tester, sur des cyclistes entraînés, les effets d'une méthode de refroidissement sur les réponses physiologiques et perceptives lors d'un exercice de pédalage à intensité autoréglée effectué dans un environnement chaud et humide.

Notre première hypothèse était que le pré-cooling, lors d'un échauffement standardisé, influencerait le niveau de puissance développée et la stratégie de gestion de l'effort des sujets.

Notre seconde hypothèse était que le post-cooling réduirait le temps nécessaire pour atteindre la normothermie, malgré l'augmentation hypothétique du niveau de puissance de l'exercice précédent.

MÉTHODE

Sujets

Dix cyclistes entraînés, de niveau national (Moyenne \pm Écart-Type ; âge $21,36 \pm 1,8$ années, taille $178,9 \pm 4$ cm, poids $71,6 \pm 4,3$ kg, indice de masse corporelle $22,15 \pm 1,01$, surface corporelle $1,90 \pm 0,08$ m² (Dubois & Dubois, 1989)) avec 6 ± 2 années de compétition, se sont portés volontaires pour participer à cette étude. Tous les sujets ont donné leur consentement écrit afin de participer à cette étude. Ils devaient garder leurs habitudes alimentaires (évitant la caféine dans les 12 heures précédentes) et d'entraînement tout au long de la période de cette étude. Chaque sujet était familiarisé avec le protocole de tests et les équipements utilisés, mais n'était pas informé des résultats attendus de cette étude. Les sujets ont été testés deux fois, à une semaine d'intervalle, aux mêmes heures de la journée et dans des conditions randomisées : en condition contrôle ou avec la combinaison de pré- et post-cooling.

Conditions de contrôle (sans cooling)

Chaque sujet a effectué un échauffement standardisé de 20 minutes sur bicyclette pendant lequel la puissance était précisément contrôlée. Cet échauffement se composait de 4 niveaux d'intensité d'exercice (niveau 1 : 5 minutes à 50 % de la Puissance Maximale Aérobie (PMA) ; niveau 2 : 5 minutes à 66 % ; niveau 3 : 5 minutes à 83 % ; niveau 4 : 2 minutes à 100 %). Puis l'athlète effectuait une récupération active pendant 3 minutes à 50 % de la PMA, suivie d'une période de 5 minutes de récupération passive, assis sur la bicyclette. Ce type d'exercice correspond aux intensités d'échauffement habituellement effectuées sur home-trainer par les coureurs avant les compétitions de contre-la-montre (Grappe, 2009). Chaque sujet utilisait sa propre bicyclette sur laquelle était montée une roue arrière équipée d'un capteur de puissance intégré au moyeu (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris Cycling Group Inc., Madison, WI, USA) et installée sur un home-trainer calibré (CatEye CS-1000[®], Cat Eye[®] Co, Osaka, Japon). Ensuite chaque sujet était invité à développer la plus grande puissance moyenne au cours du test de 20 minutes (TT₂₀) (Perrey et coll., 2003) tout en régulant librement leur intensité d'exercice. Les sujets étaient uniquement informés du temps passé et les moniteurs de contrôle étaient tous masqués. Chaque session se déroulait dans une chambre climatique où chaleur et humidité ont été étroitement contrôlées ($29,9 \pm 0,40$ °C et $78,5 \pm 2,48$ % d'humidité relative). De plus, les sujets étaient refroidis par un ventilateur électrique soufflant à une vitesse constante de $2,66 \text{ m.s}^{-1}$ (Byrne et coll., 2011 ; Ross et coll., 2011), et ils portaient une tenue de cyclisme standard constituée de short et de maillots faits en 100 % polyester. Hirata et coll. (1987) ont démontré que l'utilisation d'un ventilateur dirigeant du vent sur le visage des sujets permettait une meilleure performance lors d'une hyperthermie comparé à une condition contrôle.

Durant le test, la FC a été enregistrée en continu par un cardiofréquencemètre (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris Cycling Group Inc., Madison, WI, USA) et des capteurs

thermiques cutanés (YSI 409B[®] Temperature Probe, YSI[®] Inc.; Yellow Springs, OH, USA et Digi-Sense Thermistor thermometer model 60010-70[®]; Barnant[®] Inc., Barrington, IL, USA) étaient placés sur la peau au niveau du muscle pectoralis major, du triceps brachii, du rectus femoris et sur la tête latérale du gastrocnemius droits. Les températures cutanées (T_{skin}) ont été enregistrées toutes les 2 minutes pendant le TT₂₀, à la fin de chaque niveau de l'échauffement, ainsi qu'après 15 puis 30 minutes de récupération. La température cutanée moyenne a été calculée sur la base de l'équation de Ramanathan (1964) :

Température cutanée moyenne = $0,3 T_{ch} + 0,3 T_a + 0,2 T_t + 0,2 T_c$, où T_{ch} est la température de la poitrine, T_a la température du bras, T_t celle de la cuisse et T_c celle du mollet.

De plus, la température rectale (T_{rec}) (OMRON 1 temp[®], OMRON[®] Co., Kyoto, Japon) a été enregistrée i) au repos, ii) à la fin de l'échauffement, iii) à la fin du TT₂₀ iv) après 15 minutes de récupération et v) après 30 minutes de récupération. Le thermistore rectal calibré était inséré de 10 cm au-delà du sphincter anal. Étant donné que les sujets ne souhaitaient pas pédaler avec une sonde rectale, le thermistor était enlevé après chaque mesure. Le taux de refroidissement, établi comme étant la baisse de température rectale par unité de temps, lors de la récupération a été calculé selon la formule suivante :

Taux de refroidissement (1^{ère} et 2^{ème} périodes de récupération) = $(T_{recti} - T_{rectf}) / 15$ où T_{recti} est la température rectale initiale et T_{rectf} la température centrale rectale exprimé en °C.min⁻¹.

Taux de refroidissement (moyen de récupération) = $(T_{rectr} - T_{rectt}) / 30$ où T_{rectr} est la température rectale en fin de récupération et T_{rectt} la température rectale à la fin du TT₂₀.

Les calculs de la température totale du corps, de la chaleur stockée, et de la quantité de chaleur moyenne stockée utilisés dans cette étude, ont été effectués en utilisant les formules suivantes (Ramanathan, 1964) :

$$\text{Température corporelle } (T_{body}) = 0,79 * (T_{rec}) + 0,21 * (T_{skin})$$

Chaleur stockée (Q_c) = $T_{\text{body}} * m * 3,47$, où Q_c est exprimée kJ, T_{body} en °C, m la masse en kg et 3,47 la constante mesurée en kJ. °C⁻¹.kg⁻¹.

Quantité de chaleur moyenne stockée (Q_s) = $(Q_{c, t1} - Q_{c, t2})/20$, où Q_s est la moyenne du stockage de chaleur en kJ.min⁻¹, $Q_{c, t1}$ la chaleur accumulée à la fin de l'échauffement et $Q_{c, t2}$ la chaleur stockée à la fin du TT₂₀.

Les scores de PSE (échelle du RPE 6-20 de Borg 1998) et de la chaleur (échelle de la Feeling Scale de Hardy & Rejeski 1989 adaptée au confort thermique) ont été enregistrés toutes les 2 minutes pendant le TT₂₀, mais aussi pendant l'échauffement, puis 15 et 30 minutes après le TT₂₀ lors de la phase de récupération. Pendant toute la durée de l'expérimentation, les sujets pouvaient boire de l'eau fraîche (14 °C) *ad libitum*.

Conditions de cooling (avec pré-/post-cooling)

L'échauffement se déroulait de la même manière et dans les mêmes conditions environnementales, mais lors de l'échauffement et pendant les 15 premières minutes de récupération, les sujets étaient équipés d'une veste (Ice-Shirt®, Vtherm® Inc., Roche-Lez-Beaupré, France) réfrigérant le haut du torse et du dos (recouvrant environ 20 % de la surface corporelle totale) ainsi que d'un bandeau (Coolmor® Cooling Head Band, Roshgo® Co., Atlanta, GA, USA) pour refroidir le front (couvrant environ 3 % de la surface corporelle totale). Avant d'être porté, le bandeau était conservé dans une eau à 5 °C et la veste réfrigérante gardée 30 minutes à une température de -18 °C dans un congélateur. Une fois portés, veste et bandeau diffusaient une température de 8 °C au niveau de la peau. Crawshaw et coll. (1975) ont conclu que le front montrait une haute sensibilité au froid et une grande capacité de perte de chaleur. Heled et coll. (2004) ont montré que le port de vestes de refroidissement permettait de limiter la contrainte thermique imposée aux participants.

ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été analysées en termes de moyenne et d'écart-type. Comme les données de cette étude répondent aux exigences statistiques pour l'utilisation de statistiques paramétriques (homogénéité de la variance et normalité de la distribution des échantillons), une ANOVA à 2 facteurs et à mesures répétées (conditions x temps) a été utilisée, suivie du test *post hoc* de Scheffé (Statview[®] SAS[®] Institute Inc. Version 5, Cary, NC, USA). Tout changement notable dans la puissance externe développée lors du pédalage, indépendamment de la valeur de P, a été déterminé avec un coefficient de variation (CV) intra-individuel. En utilisant les hypothèses conventionnelles alpha (0,05) et beta (0,02), nous avons estimé que les 10 sujets développeraient suffisamment de puissance pour voir apparaître des différences de puissance externe développée supérieures ou égales au CV, qui avait été estimé à 5 % lors de pré-tests. Cela représente une variation de puissance externe développée de 7,3 W/ 2min. Une analyse de régression a aussi été utilisée pour déterminer un lien possible entre le temps et la puissance développée lors du TT₂₀. Un T-test de Student apparié a permis de comparer les quantités d'eau ingérées et le taux de refroidissement dans les deux conditions. Une analyse de corrélation linéaire de Pearson a été réalisée entre les variables suivantes : FC, PSE, confort thermique, température cutanée et puissance développée. Le niveau de significativité des résultats a été fixé à $P < 0,05$.

RÉSULTATS

Puissance externe développée

La puissance développée lors du TT₂₀ montre un effet condition significatif ($P = 0,006$) mais pas d'effet temps ($P = 0,46$) ou d'interactions ($P = 0,999$). Comme indiqué dans la Figure K, les tests *post hoc* révèlent que la puissance externe développée dans les conditions de cooling ($239,07 \pm 45$ W) étaient significativement plus élevées ($P < 0,05$) que

dans les conditions de contrôle ($222,78 \pm 47$ W). Cette différence représente une puissance moyenne supérieure de 16,29 W (+ 7,31 %) entre les deux conditions.

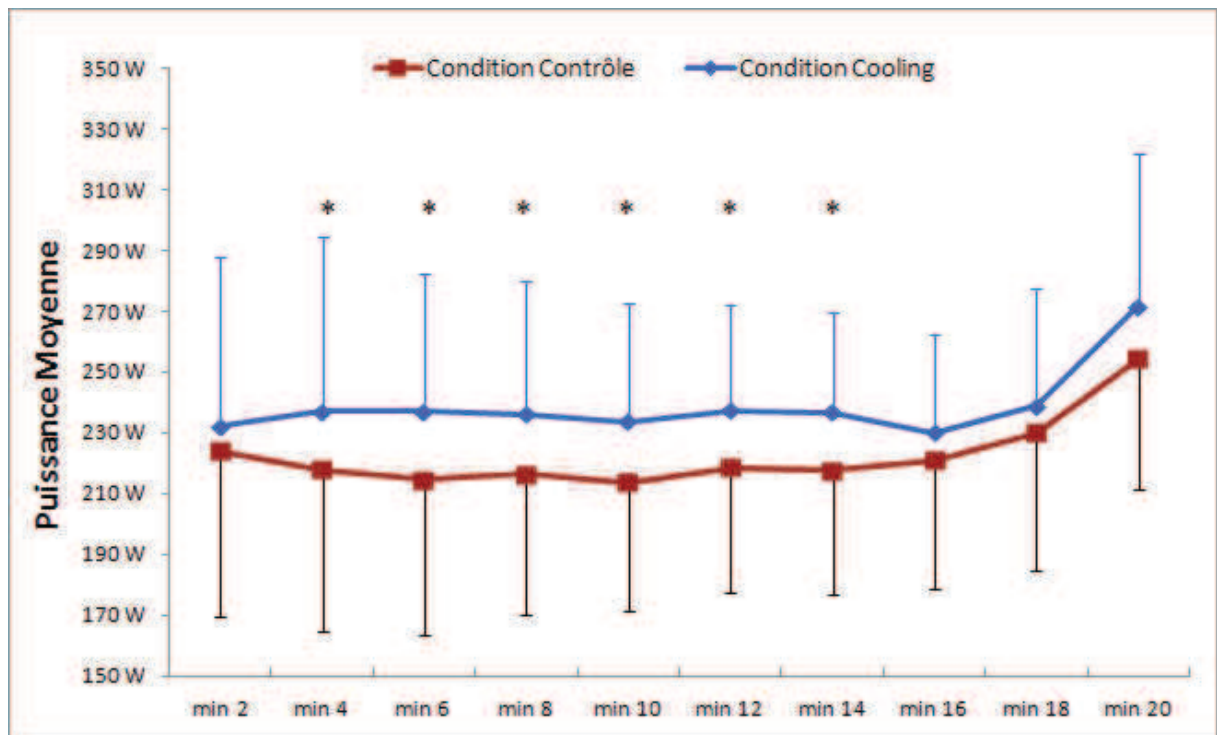


Figure K/ Puissance moyenne (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) développée lors du TT₂₀ effectué à intensité autorégulée. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions

Stratégie de gestion de l'effort

Les sujets ont maintenu une puissance moyenne qui variait de 1,55 % (condition contrôle) et 1,64 % (condition de cooling) lors des 18 premières minutes du TT₂₀ (Figure L), sans noter de différence significative.

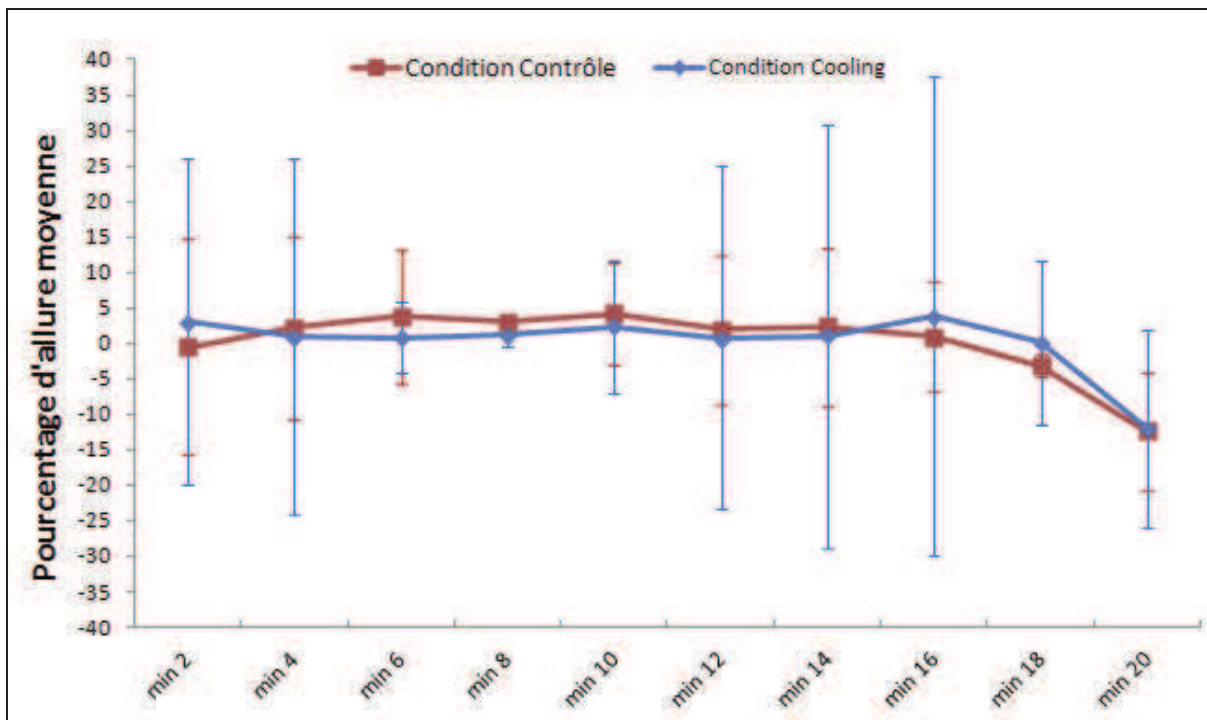


Figure L/ Allure normalisée de la puissance externe développée (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) par périodes de 2 minutes lors du TT₂₀ effectué à intensité autorégulée.

Lors des 2 dernières minutes du TT₂₀, les participants ont effectué la même accélération de fin de course de 12,37 % et de 12 % respectivement dans les conditions contrôle et cooling.

Températures, stockage de chaleur et taux de refroidissement

Les résultats de température cutanée montrent un effet de condition significatif ($P = 0,01$) ainsi qu'un effet temps significatif ($P = 0,0001$), mais pas d'interactions ($P = 0,68$). Comme indiqué dans la Figure M, les tests *post hoc* révèlent que les températures cutanées, dans la condition cooling, étaient significativement plus basses ($P < 0,05$) que dans la condition contrôle. Cette baisse significative était observée lors de l'échauffement ($35,12 \pm 0,92$ °C vs. $35,76 \pm 0,49$ °C), mais aussi aux minutes 2, 4 et 6 du TT₂₀ ($35,91 \pm 0,63$ °C vs. $36,21 \pm 0,39$ °C) et lors de la récupération ($35,01 \pm 0,22$ °C vs. $35,50 \pm 0,32$ °C après 15 minutes de récupération et $34,80 \pm 0,23$ °C vs. $35,30 \pm 0,30$ °C après 30 minutes d'exercice).

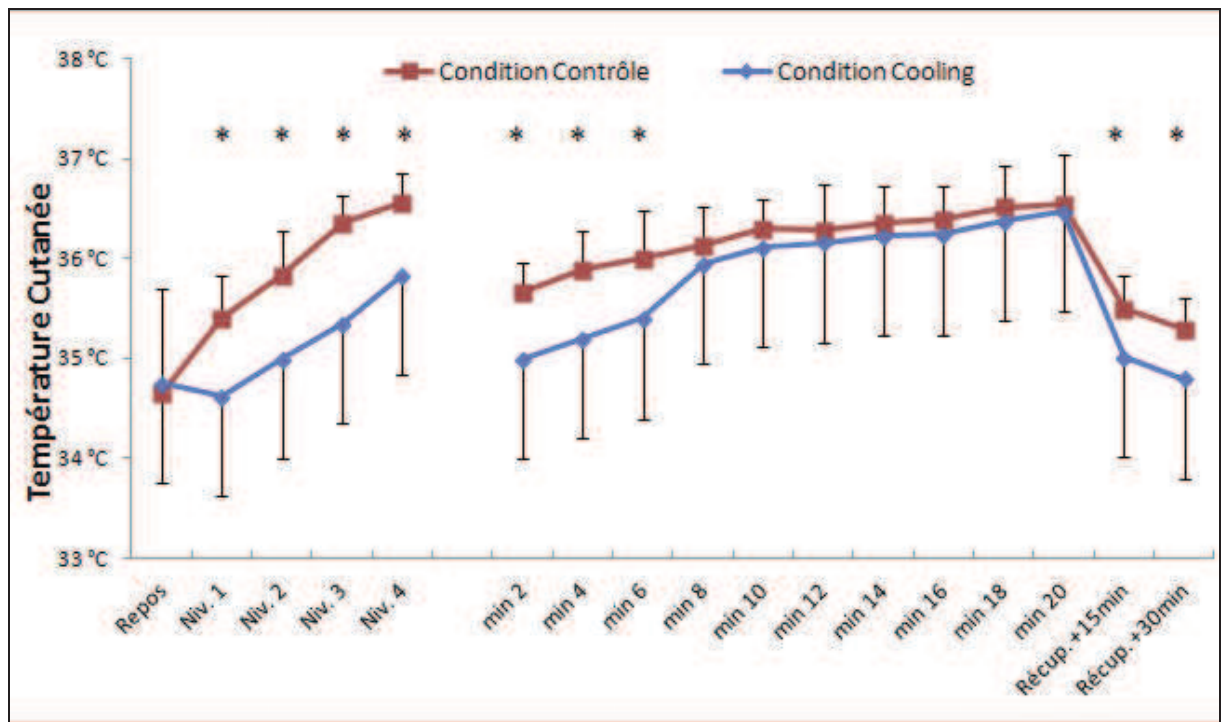


Figure M/ Température cutanée (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'un échauffement standardisé, du TT₂₀ effectué à une intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les deux conditions

Pour la température rectale, un effet condition ($P = 0,01$) et un effet temps ($P = 0,0001$) ont été observés. Aucune interaction significative n'a été observée ($P = 0,83$). Les tests *post hoc* (Figure N) révèlent que cette température rectale n'était pas significativement différente au repos ($P = 0,815$), à la fin du TT₂₀ ($P = 0,558$) ou après 15 minutes de récupération ($P = 0,213$). Dans la condition cooling, elle était significativement plus basse ($P = 0,047$) à la fin de l'échauffement ($37,67 \pm 0,46$ °C vs. $37,96 \pm 0,32$ °C) ainsi qu'après 30 minutes de récupération ($P = 0,005$; $37,46 \pm 0,41$ °C vs. $37,92 \pm 0,57$ °C).

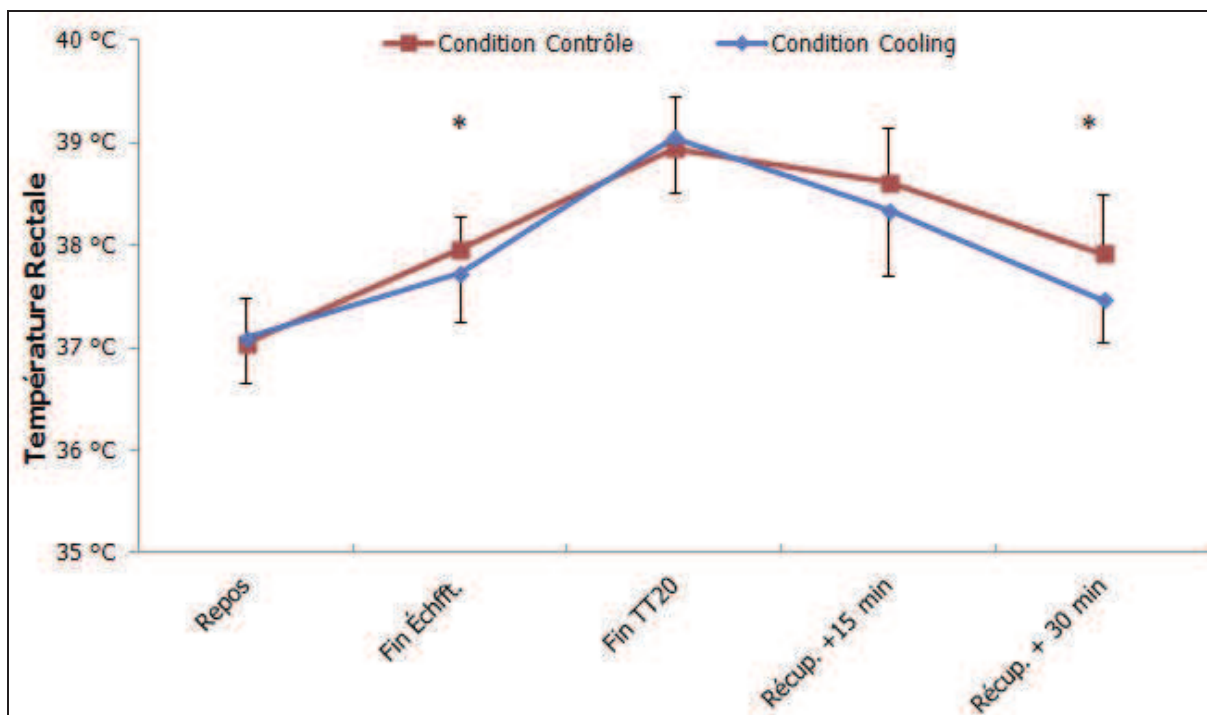


Figure N/ Température rectale (Moyenne ± Écart-Type, n = 10) au repos, à la fin de l'échauffement standardisé, à la fin du TT₂₀ et lors de la récupération. * Différence significative (P < 0,05) entre les deux conditions

De plus, la quantité de chaleur accumulé, lors du TT₂₀ était significativement plus importante (P < 0.05) lors de la condition cooling comparé à la condition contrôle (respectivement, $1,39 \pm 0,5$ °C et $0,99 \pm 0,5$ °C en terme d'augmentation de la température rectale brute ; $320,73 \pm 109,75$ kJ vs. $190,86 \pm 119,42$ kJ en terme de chaleur accumulée ; $19,1 \pm 11,9$ kJ.min⁻¹ et $16,0 \pm 5,5$ kJ.min⁻¹ en terme de taux de chaleur accumulée).

Le taux de refroidissement (Tableau 1) lors de la récupération montre des différences significatives en termes de baisse de la température rectale et de quantité de chaleur accumulée. Après 15 minutes de récupération, ce taux de refroidissement était significativement (P = 0,026 et P = 0,003) plus bas dans la condition cooling que dans la condition contrôle (respectivement : $0,047 \pm 0,022$ °C.min⁻¹ vs. $0,022 \pm 0,035$ °C.min⁻¹ et - $14,50 \pm 4,32$ kJ.min⁻¹ vs. $-8,08 \pm 6,94$ kJ.min⁻¹). Il n'y a pas de différence significative entre la 15^{ème} et 30^{ème} minute de. Sur la durée complète de la récupération, le taux de refroidissement moyen était significativement plus bas (P = 0,008 et P = 0,027) après une période de cooling

que lors de la condition contrôle (respectivement : $0,05 \pm 0,02 \text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$ vs. $0,03 \pm 0,01 \text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$ et $-13,42 \pm 3,71 \text{ kJ.min}^{-1}$ vs. $-8,90 \pm 2,67 \text{ kJ.min}^{-1}$).

Condition Expérimentale	Taux de refroidissement pendant la récupération		
	0 - 15 min	15 - 30 min	0 - 30 min
Température centrale ($^{\circ}\text{C.min}^{-1}$)			
Contrôle	$0.022 \pm 0,035$	$0.023 \pm 0,022$	$0.034 \pm 0,014$
Cooling	$0.047 \pm 0,022 *$	$0.029 \pm 0,022$	$0.053 \pm 0,019 *$
Quantité de chaleur accumulée (kJ.min^{-1})			
Contrôle	$-8,08 \pm 6,94$	$-9,71 \pm 8,57$	$-8,90 \pm 2,67$
Cooling	$-14,50 \pm 4,32 *$	$-12,35 \pm 8,71$	$-13,42 \pm 3,71 *$

Tableau 1/ Baisse de la température rectale (Moyenne \pm Écart-Type, n = 10) lors de la récupération.

*Différence significative ($P < 0.05$) entre les deux conditions

Réponses perceptives

En ce qui concerne la PSE, un effet condition significatif a été trouvé ($P = 0,001$) ainsi qu'un effet temps ($P = 0,0001$) mais pas d'interactions ($P = 0,92$). Les tests *post hoc* n'ont pas révélé de différence significative dans les perceptions subjectives de l'effort entre la condition contrôle ($16,12 \pm 1,55$) et la condition cooling ($15,97 \pm 1,51$) lors du TT₂₀, mais des score de PSE significativement plus élevés dans la condition contrôle aux niveaux 2 et 3 de l'échauffement (Figure O) ($11,55 \pm 2,08$ vs. $12,8 \pm 1,63$ au niveau 2 et $13,15 \pm 2,16$ vs. $14,3 \pm 2,05$ au niveau 3, respectivement pour la condition contrôle et cooling).

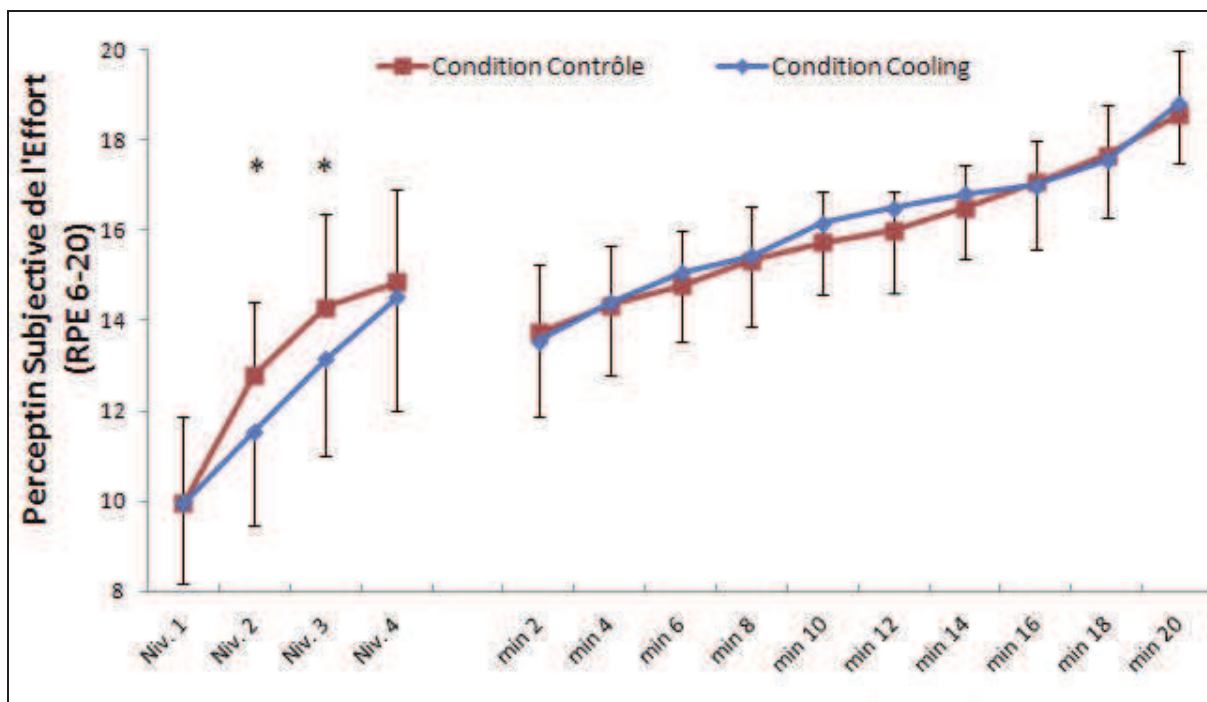


Figure O/ Perception subjective de l'effort (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'un échauffement standardisé, du TT₂₀ effectué à intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les deux conditions

De même en ce qui concerne le confort thermique, les résultats montrent un effet groupe significatif ($P = 0,0001$) et un effet temps ($P = 0,0001$), mais pas d'interactions ($P = 0,94$). Comme indiqué dans la Figure P, une différence significative ($P < 0,05$) a été observée entre les deux conditions pendant l'échauffement, aux minutes 2, 4, 6, 8 et 12 du TT₂₀ et durant toute la période de récupération ($0,75 \pm 0,5$ vs. $0 \pm 0,6$ après 15 minutes de récupération, et $0 \pm 0,5$ vs. $-1,5 \pm 0,70$ après 30 minutes de récupération, respectivement dans les conditions contrôle et cooling).

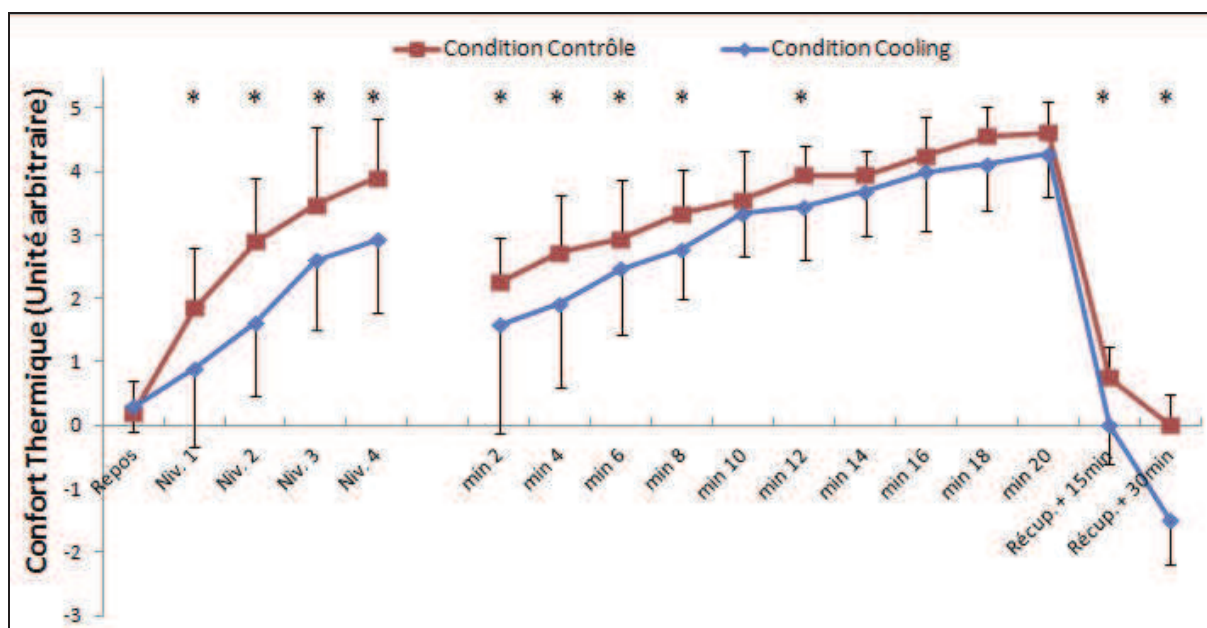


Figure P/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'un échauffement standardisé, du TT₂₀ effectué à intensité autorégulée et de la récupération. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les deux conditions

Fréquence Cardiaque

En ce qui concerne la FC, un effet groupe significatif a été trouvé ($P = 0,02$) ainsi qu'un effet temps ($P = 0,0001$) mais pas d'interactions ($P = 0,99$).

Comme indiqué dans la Figure Q, aucune différence significative n'a été observée lors de l'échauffement ($139,38 \pm 36,45$ bpm vs. $140,25 \pm 42,10$ bpm) ou lors du TT₂₀ ($176,32 \pm 6,54$ bpm vs. $179,56 \pm 6,95$ bpm). Cependant, une différence significative a été trouvée entre les deux conditions après 15 minutes ($110 \pm 8,18$ bpm dans la condition contrôle vs. $97 \pm 15,13$ bpm lors du post-cooling) et 30 minutes de récupération ($85 \pm 12,49$ bpm dans la condition de contrôle vs. $75 \pm 2,08$ bpm lors du post-cooling).

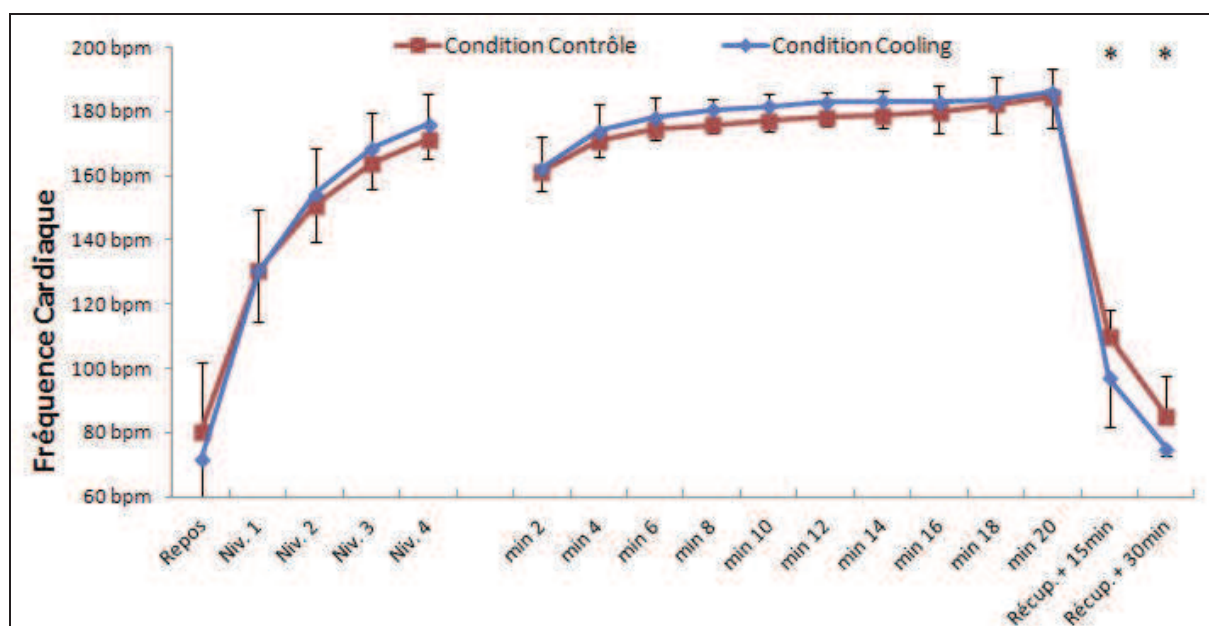


Figure Q/ Fréquence cardiaque (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'un échauffement standardisé, du TT₂₀ effectué à intensité autoréglée et de la récupération. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les deux conditions

Corrélations entre les variables physiologiques et perceptives.

Le Tableau 2 synthétise les analyses de corrélations linéaires de Pearson entre les différentes variables observées dans l'étude lors de la condition contrôle.

	Température Cutanée	Confort Thermique	Perception Subjective de l'Effort	Fréquence Cardiaque
Puissance	$r = 0,349$ ***	$r = 0,182$ N.S.	$r = 0,442$ ***	$r = -0,125$ N.S.
Température Cutanée		$r = 0,438$ ***	$r = 0,602$ ***	$r = 0,376$ ***
Confort Thermique			$r = 0,759$ ***	$r = 0,569$ ***
Perception Subjective de l'Effort				$r = 0,406$ ***

Tableau 2/ Analyse de corrélations linéaires dans la condition contrôle. N.S. : Non Significatif. *** : $P < 0,001$.

Le Tableau 3 résume les analyses de corrélations linéaires de Pearson entre les différentes variables enregistrées lors de la condition cooling.

	Température Cutanée	Confort Thermique	Perception Subjective de l'Effort	Fréquence Cardiaque
Puissance	$r = -0,196$ N.S.	$r = 0,003$ N.S.	$r = 0,319$ **	$r = -0,073$ N.S.
Température Cutanée		$r = 0,622$ ***	$r = 0,680$ ***	$r = 0,672$ ***
Confort Thermique			$r = 0,590$ ***	$r = 0,735$ ***
Perception Subjective de l'Effort				$r = 0,620$ ***

Tableau 3/ Analyse de corrélations linéaires dans la condition cooling. N.S. : Non significatif. *** : $P < 0,001$. ** : $P < 0,05$.

Consommation d'eau

La consommation d'eau par les sujets n'a pas été significativement différente ($P = 0,649$) entre les deux conditions (1002 ± 626 mL dans la condition contrôle vs. 1061 ± 647 mL dans la condition cooling).

DISCUSSION

Le but de cette étude était de tester l'hypothèse selon laquelle i) le pré-cooling pouvait influencer la puissance moyenne développée lors d'une épreuve de 20 minutes et la stratégie de gestion d'effort, ii) le post-cooling, au cours de la récupération, permettrait d'atteindre plus rapidement la normothermie chez des cyclistes de haut niveau.

Pré-cooling

Le résultat le plus important de cette étude est que le pré-cooling augmente significativement la puissance moyenne développée lors d'un exercice de cyclisme effectué à intensité autorégulée. L'augmentation significative de 16,29 W (+7,31 %) observée dans notre étude, est en accord avec celles précédemment rapportées (Kay et coll., 1999 ; Duffield et coll., 2010) où la puissance développée avait augmenté respectivement de 6,04 % et de 11,23 % après une phase de pré-cooling. Cependant, nos différences sont moins prononcées que chez Cotter et coll. (2001) qui ont rapporté des écarts de l'ordre de 17,06 %. Cette différence majeure peut s'expliquer par le fait que les sujets ont utilisé une méthode de pré-cooling différente (veste de refroidissement et exposition à l'air froid) et sur une période d'exercice plus longue (35 minutes). Néanmoins, nous observons des résultats plus importants que ceux d'Arngrímsson et coll. (2004) qui ont rapporté un gain de 1,15 % sur un test de course à pied de 5km. De plus, le taux d'humidité très élevé dans notre étude (78,5 % d'humidité relative) peut aussi expliquer ces différences de résultats. En accord avec Maughan et coll. (2012), il semble qu'un haut niveau d'humidité réduirait de manière drastique l'efficacité de l'évacuation de la chaleur au moyen de l'évaporation de la sueur.

Mais cette augmentation de performance se fait indépendamment des variations de températures cutanées ou centrales. En effet, la stratégie de gestion de l'effort ne révèle que de faibles variations dans la condition de cooling (1,64 %) et dans la condition contrôle (1,55 %) lors des 18 premières minutes d'exercice, tout comme le coefficient de variation lors des 2 dernières minutes qui était respectivement de 12 % et 12,37 % dans la condition de cooling et de contrôle. Comparées aux résultats d'Ely et coll. (2009) et de Byrne et coll. (2006), les températures rectales relativement basses (*i.e.* $< 40^{\circ}\text{C}$) enregistrées à la fin du TT₂₀ ($39,06 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et $38,94 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dans les conditions cooling et contrôle, respectivement), ne semblent pas atteindre une hypothétique température centrale critique, qui pourrait réduire la

production de chaleur métabolique et protéger l'intégrité physiologique des sujets testés (Nybo & Nielsen, 2001 ; St Clair Gibson & Noakes, 2004 ; Quod et coll., 2006). Ainsi, d'autres variables pourraient influencer la puissance moyenne développée ou la gestion de l'effort, comme la capacité à stocker de la chaleur. En effet, les résultats de cette étude démontrent que lors de l'accomplissement du TT₂₀, le refroidissement corporel a permis une plus grande accumulation de chaleur par le corps (320,73 kJ vs. 190,86 kJ dans les conditions cooling et contrôle respectivement).

Le confort thermique ressenti par les sujets semble confirmer ces données physiologiques. En effet, des températures cutanées plus basses combinées à une augmentation de la capacité du corps à emmagasiner de la chaleur ont permis de réduire le stress thermique imposé aux sujets leur permettant ainsi de développer de meilleurs niveaux de puissance lors du TT₂₀.

Lors de l'échauffement, quand la puissance est fixée, les valeurs de PSE et de confort thermique étaient significativement plus importantes dans la condition de contrôle. C'est sans doute pour cette raison que les sujets ont commencé le TT₂₀ à une intensité légèrement plus modérée ($222,78 \pm 47$ W) afin d'atteindre une fréquence cardiaque pic à la fin du TT₂₀. Cependant, il est à noter que malgré une amélioration significative de la puissance moyenne développée lors du TT₂₀ lors de la condition cooling, aucune différence significative des valeurs de PSE n'a été observée entre les deux conditions. L'explication de phénomène pourrait se trouver dans la relation existant entre la PSE et la FC. En effet, même si le niveau de puissance externe développée par les sujets a été amélioré suite au refroidissement corporel, il apparaît que les valeurs de FC n'ont pas montré de différences significatives. Nos résultats ne démontrent pas de relation forte entre les valeurs de PSE et le niveau de performance. En effet, les résultats de notre étude semblent montrer une relation plus forte entre la PSE et la FC des sujets. Dans la condition de cooling, les sujets ont exprimé des

valeurs de PSE et de confort thermique plus basses à la fin de l'échauffement. Ils ont ensuite choisi et maintenu une intensité plus élevée lors des 20 minutes du test ($239,07 \pm 45$ W). Ce mécanisme avait déjà été rapporté par Noakes (1997) qui suggérait qu'un « gouverneur central », travaillant sûrement au niveau de l'inconscient, calculait le temps nécessaire à l'accomplissement d'une tâche. Ce calcul pourrait intégrer la dérive de la température corporelle à l'exercice qui au-delà d'un certain seuil, très certainement propre à chaque sujet, entraînerait un arrêt prématuré de l'exercice ou une baisse drastique de l'intensité afin de maintenir l'effort pour la durée programmée. Il est possible que le confort thermique, induit par une température cutanée plus faible suite au refroidissement corporel soit aussi un des facteurs importants pris en compte par le gouverneur central lors de calcul. En effet, dans la continuité de cette hypothèse, le fait que les conditions environnementales contraignantes soient ressenties comme moins pénibles lorsque les températures cutanées sont basses pourrait amener la preuve que ces deux facteurs sont en concurrence dans ce complexe calcul d'anticipation. Dès lors, il serait possible que pour le gouverneur central, confort thermique et température cutanées soient des inhibiteurs des conditions environnementales.

D'autres facteurs peuvent aussi expliquer partiellement cette amélioration de puissance développée suite au pré-cooling. En effet, les fréquences cardiaques ne présentaient pas de différences significatives entre nos deux conditions avant ou après le TT₂₀, et ce même si les sujets avaient développé des puissances supérieures après avoir été refroidis. De plus, aucune différence n'a été observée concernant la PSE entre les performances. Par conséquent, l'accroissement de la chaleur stockée et les mécanismes de dissipation pourraient entrer en compétition avec les muscles impliqués dans le pédalage. Sans refroidissement corporel, une augmentation du débit sanguin cutané à des fins de dissipation de la chaleur, engendrerait des puissances développées plus faibles à un même niveau de réponses perceptives et cardiovasculaires (Vaile et coll., 2011).

Les analyses de corrélations linéaires montrent que la puissance est significativement corrélée avec la PSE dans les deux conditions ($r = [0,319 ; 0,442]$), ainsi qu'avec la température cutanée lors de la condition contrôle ($r = 0,349$). L'absence de corrélation entre puissance développée et FC peut s'expliquer par la nature du test effectué. En effet, l'exécution d'un effort à intensité autorégulée semble peu propice à l'observation d'une corrélation entre un niveau de puissance, qui apparaît comme relativement stable lors des 20 minutes qui composaient le test, et les valeurs de FC, qui avaient tendance à voir une dérive de leurs valeurs en fonction du temps.

Les résultats nous montrent que la température cutanée est significativement corrélée avec le confort thermique ($r = [0,438 ; 0,622]$), la PSE ($r = [0,602 ; 0,680]$) et la FC ($r = [0,376 ; 0,672]$). Ces corrélations semblent mettre en avant un rôle important de la température cutanée à la fois comme valeur physiologique, mais aussi comme précurseur de l'évaluation du confort thermique. De même, le confort thermique montre une corrélation significative avec la PSE ($r = [0,590 ; 0,759]$) et avec la FC ($r = [0,569 ; 0,735]$) ; et la PSE montre une corrélation significative avec la FC ($r = [0,406 ; 0,620]$). Ainsi, de toutes les variables observées, la PSE est la seule qui soit corrélée avec toutes les autres. Ce résultat tend à confirmer l'hypothèse que la PSE intègre l'ensemble des variables, qu'elles soient perceptives ou physiologiques. Cela pourrait confirmer l'existence d'une instance supérieure intégrant une multitude de données lors de l'exécution d'un effort à intensité autorégulée.

Post-cooling

Pendant la période de récupération, une baisse significative de la fréquence cardiaque a été observée. Ce résultat est en accord avec les travaux de Mourot et coll. (2008), qui ont observé que le refroidissement engendrait une fréquence cardiaque plus faible. Les auteurs ont rapporté que le refroidissement de l'avant-bras induisait une réponse vasoconstrictive qui réduirait le débit sanguin cutané et des tissus périphériques (veine céphalique). La

vasoconstriction périphérique augmenterait les résistances périphériques. Il en résulterait une hausse de la pression artérielle, ce qui entrainerait une réponse des barorécepteurs réduisant la fréquence cardiaque. Cette vasoconstriction pourrait aussi engendrer une augmentation de la pression veineuse centrale et le volume d'éjection systolique, entraînant ainsi à une baisse de la fréquence cardiaque.

Le post-cooling a amélioré significativement le confort thermique perçu et la baisse de températures cutanées et centrales, indiquant un bénéfice pour la thermorégulation et un processus de récupération plus rapide. Les taux de refroidissement enregistrés après 30 minutes de récupération ($0,05 \pm 0,02 \text{ }^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$) sont supérieurs à ceux trouvés en 2010 par Brade et coll. ($0,04 \pm 0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$) suite au port d'une veste de refroidissement à base de gel accumulant du froid. Ce résultat suggère que le port d'une veste de refroidissement et d'un bandeau frontal juste après l'effort soit une méthode simple et efficace pour réduire le temps nécessaire pour atteindre la normothermie.

CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude suggèrent que, dans des conditions de forte chaleur et d'humidité extrême, le port de T-shirt et d'un bandeau de refroidissement lors d'un échauffement standardisé améliorent les performances des sujets testés dans notre étude, en leur permettant d'augmenter la puissance externe développée lors d'une épreuve de 20 minutes à intensité autorégulée. L'augmentation significative de la puissance externe est associée à une baisse de la température cutanée et à une amélioration du confort thermique, le tout sans affecter la PSE, la température rectale ou la FC. Cependant, la stratégie de gestion de l'effort semble être indépendante des variations de températures cutanées ou rectales. Néanmoins, la capacité à stocker de la chaleur pourrait influencer le niveau de performance lors d'un exercice à intensité autorégulée sans atteindre ou dépasser un niveau de température centrale critique. Le post-cooling a abaissé significativement la fréquence cardiaque et les

températures cutanées et centrales des sujets, suggérant que l'utilisation conjointe d'une veste et d'un bandeau réfrigérants est une méthode simple et valable pour atteindre la normothermie plus rapidement.

Les résultats de cette première étude ont été complétés avec un protocole engageant un autre type d'exercice. En effet, si les effets du refroidissement corporel lors d'un exercice de type aérobie effectué dans un environnement chaud et humide sont à ce jour assez bien documentés, l'impact d'une telle méthode demeure très discuté parmi la communauté scientifique avec des résultats souvent contradictoires sur les performances obtenues lors d'exercices de type anaérobie. Composante majeure de la performance lors d'épreuves comme le BMX ou le cyclisme sur piste, il semblait alors pertinent d'investiguer les effets du refroidissement corporel sur le niveau de performance anaérobie et les données perceptives dans un environnement chaud et humide lors d'une épreuve de type Wingate.

ÉTUDE N°2 : COMMENT ÉVITER LES BAISES DE PERFORMANCE AU WINGATE TEST DANS UN ENVIRONNEMENT CHAUD ET HUMIDE ?

Refroidissement du haut du corps et performances anaérobies en cyclisme effectuées dans un environnement chaud et humide.

INTRODUCTION

Les compétitions majeures en cyclisme sont organisées dans des lieux où les hautes températures sont fréquentes. Par exemple, le *Giro* se court à la fin du printemps, le *Tour de France* en plein été, la *Vuelta* à la fin de l'été et les Jeux Olympiques se déroulent en plein mois d'août. Lors des dernières décennies, les événements majeurs dans le sport ont été accueillis dans des villes dans lesquelles les conditions environnementales posaient un véritable challenge aux athlètes en raison des fortes températures souvent combinées à une humidité relative elle aussi élevée. Il est maintenant bien connu que ces conditions environnementales nuisent à la performance (Schlader et coll., 2011).

Selon Lorenzo et coll. (2010), entraîneurs et athlètes ont le choix entre deux interventions pour lutter contre cette baisse de performance : i) une intervention à long-terme : l'acclimatation, qui consiste à s'entraîner dans un environnement particulier pour créer une habitude en mobilisant les systèmes endocriniens et nerveux ; ii) une intervention à court-terme qui consiste à refroidir les athlètes (Quod et coll., 2006) afin de recouvrer des températures centrales, cutanées et musculaires dites « normales » avant ou durant la compétition. L'acclimatation nécessite un protocole accepté qui comprend des expositions répétées aux conditions environnementales souhaitées, consistant en des exercices de 45-60 minutes sur des périodes de 5 à 10 jours, pour obtenir un effet significatif (Brazaitis & Skurvydas, 2010 b ; Lorenzo et coll., 2010 ; Bain & Jay, 2011). Les effets du refroidissement

des athlètes avant, ou pendant un exercice en aérobie sont maintenant assez bien documentés et ont principalement pour effet l'amélioration du niveau de puissance développé lors de l'exercice (Quod et coll., 2006 ; Ranalli et coll., 2010), du niveau de confort thermique (Vernieuw et coll., 2007), des températures rectales (Pretorius et coll., 2010) et cutanées (Levels et coll., 2012) plus basses et une meilleure capacité à stocker la chaleur (Webb, 1993 ; Kay et coll., 1999).

Sans une compréhension d'au moins une partie des mécanismes sous-jacents, impliquant une altération de la redistribution sanguine, du débit sanguin et des commandes nerveuses, des conclusions pour le moins contradictoires concernant les exercices de type anaérobie peuvent être tirées. Actuellement, il n'existe pas de consensus sur les effets du refroidissement des athlètes avant, ou lors de ce type d'effort.

La littérature fait état néanmoins de quelques travaux qui utilisent des protocoles de refroidissement sur la performance d'exercices anaérobies ou sur des sprints intermittents, et tous diffèrent selon le type d'exercice, leur durée et la méthode de refroidissement utilisée. Ainsi, Duffield & Marino (2007) ont refroidi des rugbymen, en utilisant une veste refroidissante ou une combinaison de veste refroidissante et d'immersion en eau froide pendant 15 minutes avant un protocole de course en sprint par intermittence, et pendant 10 minutes à la mi-temps de leur match. Les résultats de cette étude ne montrent aucun effet sur la puissance maximale (P_{max}) ou sur l'indice de fatigue au test de Wingate suite au refroidissement. Sleivert et coll. (2001) ont montré que l'immersion corps-entier et le refroidissement des muscles actifs en portant des vêtements perfusés par un liquide de refroidissement provoquait une baisse significative de la puissance maximale (P_{max}) de -3,4 % et la moyenne de la puissance (P_{moy}) de -4,1 %. Schniepp et coll. (2002) ont évalué les performances anaérobies d'athlètes très entraînés après une immersion dans de l'eau froide et ont observé une baisse de ces performances (-13,7 % sur la P_{max} et -9,5 % sur la P_{moy}). En

2004, Cheung & Robinson ont testé l'effet d'un vêtement à refroidissement liquide à 5 °C sur des cyclistes effectuant un exercice de 30 minutes entrecoupées de tests de Wingate de 10 secondes toutes les 5 minutes, mais n'ont trouvé aucune différence de performance entre les conditions. Plus récemment, Imai et coll. (2011) ont trouvé que les performances au test de Wingate étaient affectées (-14,7 % sur la *Pmax* et -12,5 % que la *Pmoy*) lorsque la peau des sujets était exposée à une combinaison perfusée par de l'eau à 10 °C. Par conséquent, il semblerait que les méthodes de refroidissement impliquant une intervention directe sur le muscle actif, ou un refroidissement trop intense semblent avoir des effets délétères sur la performance anaérobie. Cependant, en 1999, Marsh & Sleivert ont testé une méthode de pré-cooling par immersion (13 °C) pendant 30 minutes et ont conclu à une légère amélioration (+3,3 %) des performances anaérobies. De manière surprenante, en 2006, Castle et coll. ont trouvé un effet positif sur la *Pmax* (+4,3 %) après l'application de glace directement sur les cuisses des cyclistes, comparé à une immersion dans de l'eau froide et à une veste de refroidissement, conditions dans lesquelles aucune différence sur la *Pmax* n'a été observée.

Lors de la préparation des Jeux Olympiques de Pékin, qui ont officiellement intégré au programme pour la première fois le BMX, nous avons décidé d'étudier les effets du refroidissement avant un exercice unique à intensité maximale, étant donné que la compétition débute avec une phase de qualification qui consiste en une course contre-la-montre. Cette course, qui dure entre 35 et 45 secondes selon les tracés, sert à classer les compétiteurs sur la ligne de départ lors des phases consécutives de la compétition.

Ainsi, notre étude a pour but d'étudier les effets d'une stratégie de refroidissement sur les performances lors d'un test unique de sprint de 30 secondes à intensité maximale (Wingate Test – WT) dans un environnement climatique chaud et humide.

Notre principale hypothèse était qu'un refroidissement du torse et du front pouvait améliorer les performances lors d'un WT en maintenant un haut niveau de puissance développée.

PROTOCOLE

Sujets

Neuf cyclistes de haut niveau (Moyenne \pm Écart-Type, âge : $21,7 \pm 1,9$ années ; taille : $180 \pm 4,5$ cm ; poids : $71,8 \pm 4,8$ kg ; indice de masse corporelle : $22,1 \pm 1,1$; surface corporelle : $1,9 \pm 0,1$ m² (Dubois & Dubois, 1989) ; années de compétition : $7,6 \pm 3,9$ années) se sont portés volontaires pour participer à cette étude. Durant toute la durée de l'expérience, les participants devaient maintenir leurs habitudes alimentaires et d'entraînement, mais il leur avait été demandé d'éviter toute activité physique éprouvante, ingestion de caféine, ou tout autre apport ergogénique au moins 12 heures avant chaque test. Tous les sujets étaient familiarisés avec le protocole de test et l'équipement, mais n'étaient pas informés des résultats attendus dans cette étude. Deux conditions randomisées ont été testées en cross-over. Les tests ont été effectués à une semaine d'intervalle et chaque sujet a été testé aux mêmes heures dans les deux conditions.

Condition de contrôle (sans refroidissement)

Un échauffement standardisé de 20 minutes démarrait chaque session de test. Le protocole d'échauffement était identique à celui utilisé lors de l'étude précédente, comprenant 4 niveaux d'incrémentations par paliers : 1) 5 minutes à 50 % de PMA ; 2) 5 minutes à 66 % de PMA ; 3) 5 minutes à 83 % ; 4) 2 minutes à 100 % de PMA. A cela suivaient 3 minutes à 50 % de PMA, puis 5 minutes de récupération passive, assis sur leur selle. Ce type d'échauffement correspond à celui effectué par les coureurs avant des compétitions officielles (Grappe, 2009). Afin de correspondre au mieux aux conditions réelles, les sujets utilisaient leur propre bicyclette de compétition, installée sur un home-trainer (CatEye CS-1000[®], Cat Eye[®] Co., Osaka, Japon), et équipé d'une roue arrière dans laquelle était installé un capteur intégré au moyeu puissance (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris Cycling Group Inc., Madison, WI,

USA). Selon le protocole établi par Bar-Or (1987) pour le WT, les sujets devaient rester assis constamment sur leur selle et développer une puissance maximale durant les 30 secondes du test contre une résistance constante de 0,10 kg par kg de poids de corps. Pendant l'effort, tous les sujets étaient fortement encouragés afin de les motiver. Les moniteurs de contrôle étaient masqués lors de l'exercice, et pour simuler les conditions climatiques de Pékin au mois d'Aout (Barwood et coll., 2009), chaque session se déroulait dans une chambre climatique où la température et le taux d'humidité étaient précisément contrôlés ($29,52 \pm 0,32$ °C, $75,6 \pm 1,9$ % d'humidité relative). De plus, lors du WT, les sujets étaient refroidis par un ventilateur électrique qui soufflait à une vitesse constante ($2,66 \text{ m.s}^{-1}$) (Byrne et coll., 2011 ; Ross et coll., 2011), et ils portaient tous le même équipement constitué d'un short et d'un maillot de cyclisme standard en 100 % polyester. En 1987, Hirata et coll. ont étudié les effets de la vitesse du vent créé par un ventilateur et ont observé une amélioration de leur performance lors d'une hyperthermie.

Lors de l'expérience, la fréquence cardiaque était continuellement enregistrée par un cardiofréquencemètre (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris cycling Group Inc., Madison, USA). Leur fréquence cardiaque maximale théorique a été calculée selon la formule (Whyte et coll., 2009) :

$$FC_{Max\text{ théorique}} = 202 - 0,55 * \text{âge}.$$

Des capteurs de température cutanée (YSI 409B Temperature Probe[®], YSI[®] Inc. ; Yellow Springs, OH, USA et Digi-Sense Thermistor thermometer model 600010-70[®] ; Barnant[®] Inc., Barrington, IL, USA) étaient fixés sur la peau des sujets au milieu du muscle pectoral, du triceps brachial, du muscle grand droit de la cuisse, et de la partie proximale du gastrocnémien droits. La température de la peau était enregistrée à la fin de chaque niveau d'échauffement, et à la fin du WT. La température moyenne a été calculée grâce à la formule de Ramanathan (1964) :

Température cutanée moyenne : $0,3 * (T_{ch} + T_a) + 0,2 * (T_t + T_c)$ où T_{ch} est la température du torse, T_a celle du bras, T_t celle de la cuisse et T_c celle du gastrocnémien.

La température rectale (T_{rec}) a été mesurée par une sonde rectale (OMRON 1 temp[®], OMRON[®] Co., Japon) qui était insérée 10 cm au-delà du sphincter anal. Étant donné que les sujets trouvaient le pédalage avec une sonde rectale inconfortable, celle-ci était retirée après chaque mesure : au repos, puis après le WT.

La PSE (échelle RPE 6-20 de Borg (1998)) et le confort thermique perçu (échelle Feeling Scale modifiée de Hardy & Rejesky (1989)) ont été enregistrés à la fin de l'échauffement et après le WT.

Condition de cooling

Le protocole d'échauffement était identique en termes de temps d'exercice et d'intensité, mais les sujets étaient équipés d'un T-shirt de refroidissement (Ice-Shirt[®], Vtherm[®] Inc., Roche Lez Beaupré, France) et d'un bandeau constitué de cristaux absorbants (Coolmor[®] Cooling Head Band, Roshgo[®] Co., Atlanta, GA, USA). Avant d'être portés, le bandeau était conservé dans de l'eau à 5 °C et le T-shirt dans un congélateur à - 18 °C pendant au moins 30 minutes. Tous deux délivraient une température de 8 °C à la peau par conduction. Le choix de l'utilisation d'un bandeau frontal refroidissant a été motivé par les résultats de Crawshaw et coll. (1975) qui ont conclu que le front montrait une haute sensibilité au froid et une grande capacité de déperdition de chaleur. Ainsi, nous posons l'hypothèse que de refroidir cette partie du corps pourrait avoir un effet immédiat sur la perception de la chaleur, et hypothétiquement sur les variables physiologiques. Le port d'une veste de refroidissement semblerait limiter les contraintes thermiques imposées aux sujets lors de l'exposition à un environnement chaud (Heled et coll., 2004). Ainsi, le choix de cette méthode de refroidissement a été orienté par les résultats de ces études ainsi que sur le fait que le T-

shirt et le bandeau apparaissaient comme des moyens efficaces et facilement utilisables sur les terrains de compétition d'autre part.

ANALYSE STATISTIQUE

Les données de cette étude ont été analysées en termes de Moyenne \pm Écart-Type et satisfaisaient aux exigences permettant d'effectuer des tests paramétriques (*i.e.* normalité des échantillons et homogénéité de la variance). Afin de comparer les données de puissance et les indice de fatigue, nous avons utilisé un test de « t » apparié. Pour effectuer les différences entre les réponses perceptives, la température de la peau et les conditions environnementales, une analyse de variance à 2 facteurs (conditions x temps) a été utilisée. Le niveau de significativité statistique a été défini à $P < 0,05$. Les tests *post hoc* par la méthode de Holm-Sidak ont été utilisés par comparaisons multiples appariées dès lors qu'il apparaissait des effets significatifs. Le logiciel de statistiques utilisé était Sigma Stat 3.1[®] (SPSS[®] Inc., Chicago, IL, USA).

RÉSULTATS

Puissance développée

		Puissance Maximale		Puissance Moyenne		Puissance Minimale		Indice de Fatigue	
								Pourcentage	Perte de Puissance
Condition Contrôle	Moyenne	1125.7 W	15.8 W/kg	749.9 W	10.5 W/kg	525.8 W	7.4 W/kg	53.1 %	26.1 W/s
	ET	121.9 W	1.6 W/kg	76.2 W	1.2 W/kg	67.3 W	0.9 W/kg	5.2 %	4.2 W/s
Condition Cooling	Moyenne	1030.3 W	14.5 W/kg	747.9 W	10.5 W/kg	566.9 W	7.9 W/kg	44.7 %	20.1 W/s
	ET	103.8 W	1.8 W/kg	54.0 W	1.0 W/kg	63.6 W	0.9 W/kg	6.8 %	4.4 W/s
Données Statistiques	P	0.069	0.074	0.944	0.937	0.230	0.221	0.040	0.027
	t	2.100	2.051	0.073	0.081	-1.300	-1.327	-2.449	2.703
	puissance	0.360	0.342	0.050	0.050	0.109	0.115	0.498	0.597

Tableau 4/ Puissance développée lors du Wingate Test (n = 9)

Comme indiqué dans le Tableau 4, la P_{max} , la P_{moy} , la puissance minimale (P_{min}) ne montrent pas de différence significative entre les conditions. Cependant, les indices de fatigue

exprimés en terme de pourcentage de baisse de P_{max} et de perte de puissance par unité de temps, révèlent une différence significative entre les conditions contrôle et cooling.

Températures cutanées et rectales

Les températures cutanées montrent un effet temps significatif ($F(1,5) = 23,812$; $P < 0,001$; puissance = 1,00) et un effet condition ($F = 9,115$; $P = 0,0049$; puissance = 0,611) mais pas d'interaction ($F(1,5) = 0,63$; $P = 0,68$; puissance = 0,46). Les tests *post hoc* indiquent (Figure R) des différences significatives des températures cutanées lors des niveaux 1, 2 et 3 de l'échauffement (respectivement $35,4 \pm 0,4$ °C vs. $34,7 \pm 1,2$ °C pour le 1^{er} niveau, $35,7 \pm 0,4$ °C vs. $35,0 \pm 1,0$ °C pour le 2^{ème}, et finalement $36,2 \pm 0,3$ °C vs. $35,6 \pm 1,0$ °C pour le 3^{ème} niveau dans les conditions contrôle et cooling, respectivement).

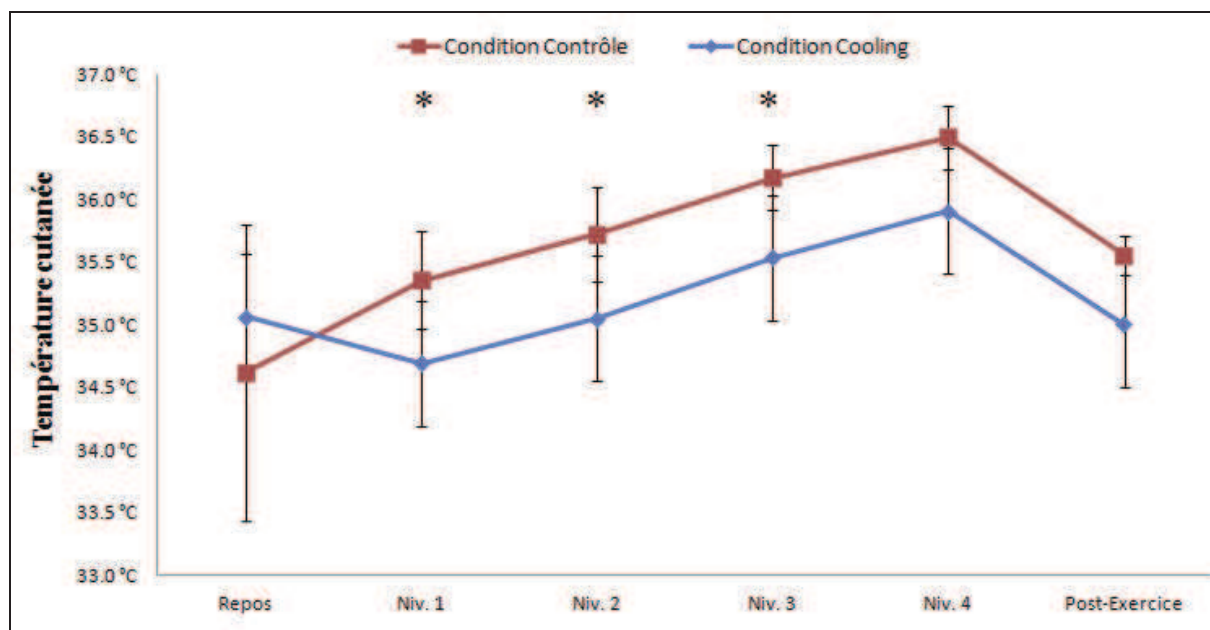


Figure R/ Température cutanée (Moyenne ± Écart-Type, n = 9) au repos, lors d'un échauffement standardisé et lors du Wingate Test. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les conditions

Les températures rectales indiquent un effet temps significatif ($F = 25,827$; $P < 0,001$; puissance = 0,994), mais pas d'effet condition ($F = 0,336$; $P = 0,578$; puissance = 0,05) ou d'interaction ($F = 4,239$; $P < 0,001$; puissance = 0,345). Au repos ($37,1 \pm 0,5$ °C dans la condition contrôle vs. $37,2 \pm 0,3$ °C dans la condition cooling) ou après le WT ($37,9 \pm$

0,3 °C dans la condition contrôle vs. $37,7 \pm 0,5$ °C dans la condition cooling), aucune différence significative n'a été observée.

Réponses perceptives

La PSE montre un effet temps significatif ($F(1, 3) = 84,986$; $P < 0,01$; power = 1,00), mais pas d'effet condition ($F = 0,00236$; $P = 0,963$; power = 0,05) ou d'interaction ($F(1, 3) = 3,749$; $P = 0,27$; power = 0,576). (Figure S)

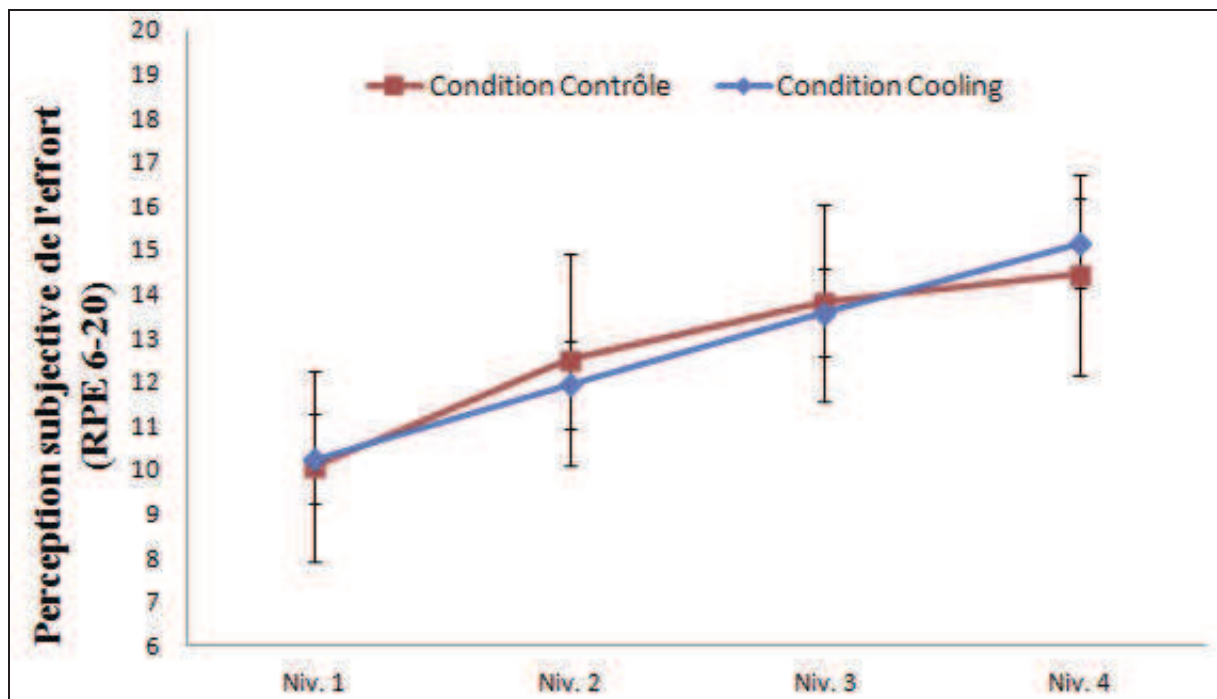


Figure S/ Perception subjective de l'effort (Moyenne \pm Écart-Type, n = 9) lors d'un échauffement standardisé

Les valeurs de confort thermique montrent une condition effet significative ($F = 8,897$; $P = 0,031$; power = 0,619) et un effet temps ($F(1, 4) = 26,632$; $P < 0,001$; power = 1,000), mais pas d'interactions ($F(1, 4) = 0,514$; $P = 0,726$; power = 0,05). Des différences significatives ont été observées lors des 1^{er} ($P = 0,038$; $1,7 \pm 1,0$ vs. $1,00 \pm 1,1$), 2nd ($P = 0,009$; $2,6 \pm 0,9$ vs. $1,7 \pm 1,3$) et 4^{ème} niveaux ($P = 0,046$; $3,6 \pm 0,8$ vs. $2,9 \pm 1,3$) de l'échauffement, et après l'exécution du WT ($P = 0,026$; $2,3 \pm 0,8$ vs. $1,5 \pm 1,7$) comme indiqué dans la Figure T.

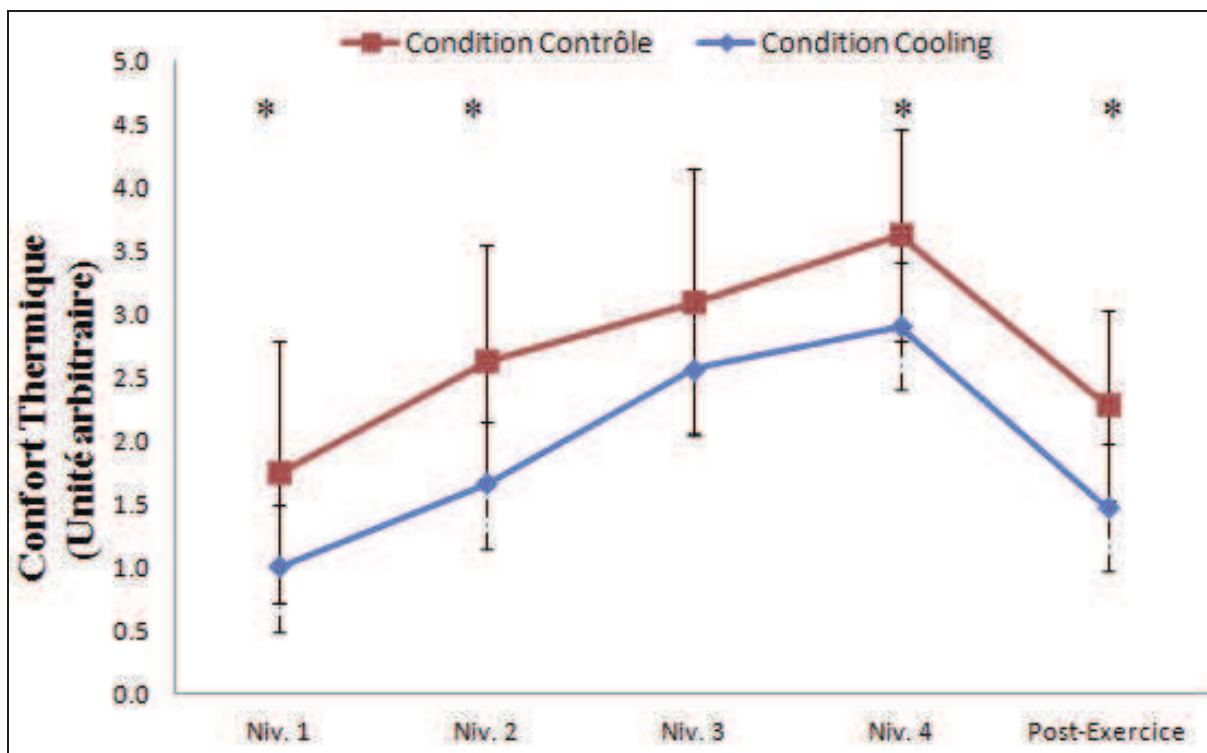


Figure T/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 9$) lors d'un échauffement standardisé et après un Wingate Test. * Différence significative ($P < 0,05$) entre les deux conditions

Fréquence cardiaque

Les données de fréquence cardiaque ne montrent pas d'effet condition ou d'interaction, mais un effet temps significatif ($P = 0,0004$). Les résultats ne présentant aucune différence significative lors de l'échauffement ($147,2 \pm 37,7$ bpm dans la condition contrôle vs. $148,3 \pm 42,5$ bpm dans la condition cooling) et à la fin du WT ($P = 0,752$; $185,9 \pm 9,8$ bpm dans la condition contrôle vs. $188,6 \pm 8,8$ bpm dans la condition cooling). En terme de pourcentage de fréquence cardiaque maximale, les deux conditions n'ont pas montré de différence significative ($P = 0,102$; $98,2 \pm 5,2$ % vs. $99,5 \pm 4,8$ %, respectivement dans les conditions contrôle et cooling).

Conditions environnementales

Les données concernant les conditions environnementales n'étaient pas statistiquement différentes entre les conditions. Les résultats détaillés concernant les températures ambiantes

n'ont montré aucun effet condition ($P = 0,830$), et ceux concernant l'humidité relative n'ont pas montré non plus d'effet condition ($P = 0,469$).

DISCUSSION

Le but de cette expérience était d'étudier une méthode de refroidissement du haut du corps sur les performances d'un test de Wingate. Le résultat le plus important de cette étude est que cette méthode de refroidissement n'a pas engendré d'effet délétère significatif sur les puissances développées. Contrairement à Imai et coll. (2011) et Schneipp et coll. (2002) qui ont trouvé des baisses drastiques dans la P_{max} et la P_{moy} , aucune baisse significative n'a été trouvée dans cette étude. Ces résultats suggèrent, en accord avec Cheung (2008), que l'altération de la contraction musculaire, observée lors du refroidissement direct des muscles actifs, ne s'est pas produite chez les sujets de notre étude. A l'inverse de Marsh et Sleivert (1999) ou de Castle et coll. (2006) qui ont observé une amélioration de la P_{max} , nous n'observons pas de tel résultat. Cette différence de résultats pourrait être liée aux conditions expérimentales de l'étude. En effet, Marsh & Sleivert (1999) ont proposé de tester les effets d'un pré-cooling long (immersion du torse pendant 30 minutes) sur un sprint plus long (70 secondes). Il a été montré qu'aux alentours de 70 secondes de sprint, environ 45 % de l'énergie nécessaire est fournie par le métabolisme aérobie (Driskell & Wolinsky, 2000 ; Figure U).

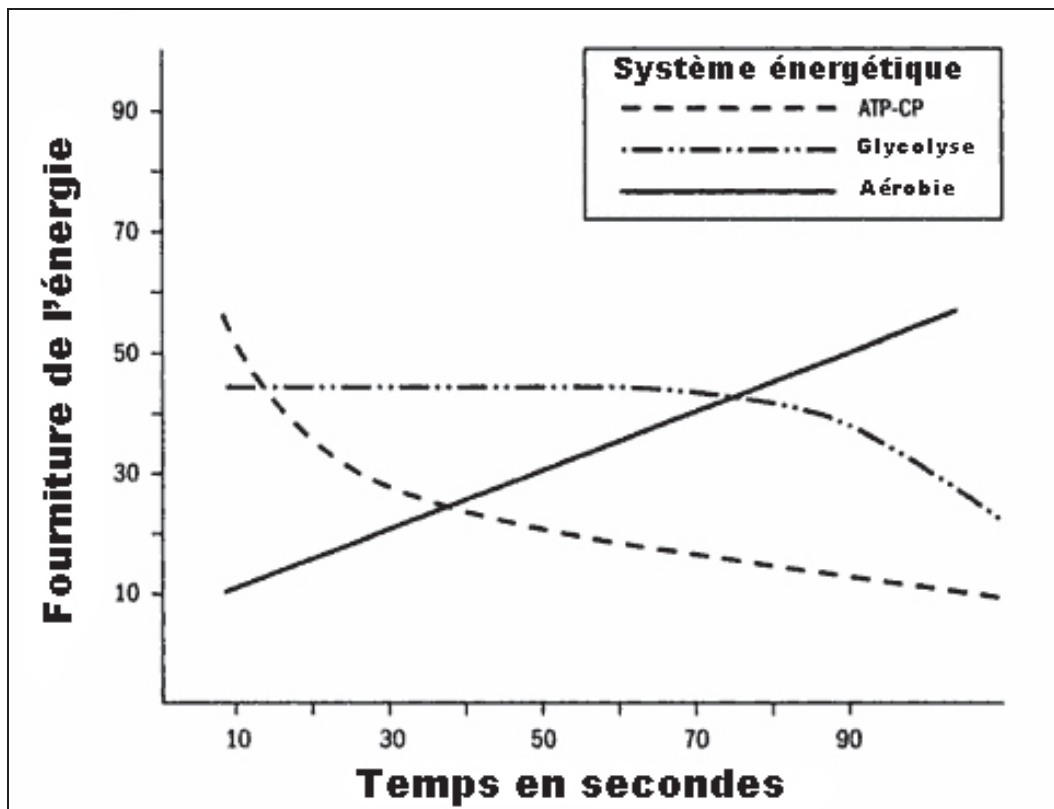


Figure U/ Contributions métaboliques à l'énergie musculaire. Adaptée de Driskell & Wolinsky (2000)

Il est alors possible que le refroidissement ait un plus grand impact sur la P_{moy} lors de sprints longs, ayant recours au métabolisme aérobie dans une plus grande mesure. Castle et coll. (2006) ont choisi de tester les effets du refroidissement chez des joueurs de sports collectifs au moyen de différentes techniques : l'utilisation de vestes réfrigérantes, d'application de pack de glace sur les cuisses (-10°C) et l'immersion dans un bain froid ($< 18^{\circ}\text{C}$). Les auteurs ont rapporté une amélioration significative de la P_{max} lors de ces sprints intermittents, mais uniquement après l'application de packs de glace sur les cuisses. Une fois de plus, un effort de 35 minutes entrecoupé de sprints de 5 secondes semble faire appel majoritairement au métabolisme aérobie et moins au métabolisme anaérobie.

De plus, les indices de fatigue bruts ou relatifs enregistrés dans notre étude montrent une amélioration significative. Cette amélioration, due au refroidissement du haut du corps avant l'exécution du WT, se traduit par une meilleure capacité à maintenir un haut niveau de

puissance. Cette capacité améliorée par le refroidissement pourrait être la composante aérobie du WT.

Nous suggérons que lorsque l'on refroidit des athlètes, cette composante aérobie du WT permette l'amélioration de la performance, mais que la composante anaérobie ne le puisse pas. Cette hypothèse est soutenue par le manque de différence significative observée pour la P_{max} et la P_{moy} de cette étude. Ceci a aussi été observé par Imai et coll. (2011) qui ont rapporté que sous les 60 secondes de sprint, la part anaérobie apparaît comme le facteur essentiel qui limiterait l'impact du refroidissement sur la P_{max} et la P_{moy} . Par conséquent, il apparaît que lors d'un protocole de refroidissement des athlètes, plus l'effort est aérobie, plus les améliorations attendues sont importantes.

Le refroidissement du corps par notre méthode de cooling apparaît comme efficace sur le confort thermique. Le fait que l'apparition du ressenti d'une chaleur intense soit retardée suggère que le confort thermique est directement lié au refroidissement cutané. En effet, l'absence de différence dans la température centrale entre les deux conditions, que ce soit avant l'échauffement, après celui-ci ou après le WT indique que cette méthode de cooling n'entraîne pas de baisse de la température centrale. Ce résultat est en opposition avec ceux de Byrne et coll. (2011) qui n'ont pas trouvé de différence significative sur le confort thermique de leurs sujets malgré une baisse de la température centrale suivant l'ingestion de liquide froid. Cependant, dans le cas des sprints intermittents (Duffield & Marino, 2007), le refroidissement intense (veste réfrigérante + bain d'eau froide) était accompagné d'une amélioration importante du confort thermique. Il semblerait que le confort thermique soit une variable complexe liée à la fois à des facteurs physiologiques et psychologiques.

CONCLUSIONS

Cette étude suggère que le refroidissement du torse et du front n'entraîne pas d'altération du pic de puissance ni de la puissance moyenne lors du Wingate Test, mais

permet néanmoins d'obtenir de meilleurs indices de fatigue et d'améliorer le confort thermique. Cette méthode de refroidissement permet une mise en œuvre efficace et simple pour des exercices effectués dans des environnements chauds et humides. Nos résultats suggèrent que les indices de fatigue plus élevés pourraient être bénéfiques sur de longs sprints (45 à 60 secondes) en bénéficiant de la « composante aérobie » plus importante de ce type de sprint. Cependant, de futurs travaux sont encouragés afin de tester, dans des conditions climatiques identiques et après avoir suivi le même protocole de refroidissement, des athlètes sur des sprints longs afin de confirmer les résultats de notre étude et nos hypothèses.

La revue de littérature nous éclaire sur les moyens de lutter contre la baisse de performance due à un environnement chaud et humide qui se font essentiellement au moyen de trois méthodes : l'acclimatation aux conditions environnementales, le refroidissement du corps avant ou après l'effort. Comme nous l'avons vu lors de la précédente étude, la combinaison d'un refroidissement pré- et post- effort permet non seulement d'améliorer la capacité des athlètes à effectuer un exercice dans de telles conditions climatiques, mais aussi de récupérer plus rapidement.

Dès lors, afin d'améliorer la performance des athlètes, notre travail s'est orienté vers l'adoption d'une stratégie d'habillement spécifique lors de l'exécution d'un effort dans des conditions climatiques identiques à celles rencontrées lors du mois d'Août à Pékin (Barwood et coll. 2009). L'hypothèse de cette stratégie est que l'adoption d'un type particulier de vêtement permettrait une meilleure dissipation de la chaleur et une perception de chaleur intense retardée, comparé au port de vêtements dits classiques.

Partant du constat que les équipes Olympiques de cyclisme étaient pourvues de maillots de cyclisme faits de polyester, nous avons donc voulu tester les différences physiologiques et perceptives éventuelles que le port de différents maillots de polyester pouvait engendrer lors d'exercices de pédalage. Ainsi, et en collaboration avec la Fédération Française de Cyclisme, nous nous sommes procuré les maillots de cyclisme de l'équipe de France Route fournis i) pour les entraînements réguliers ii) pour les Jeux Olympiques d'Athènes en 2004 iii) en prévision des Jeux Olympiques de Pékin en 2008. Tous trois présentaient des différences quant à leur densité et notamment concernant la largeur du tissage des mailles, mais tous étaient constitués de 100 % de fibre de polyester et avec une même forme. Dès lors, dans des conditions de test identiques et en ne changeant que le maillot de cyclisme, il nous était possible d'étudier l'influence de la taille des mailles de différents maillots sur les réponses perceptives et physiologiques de cyclistes entraînés.

ÉTUDE N°3 : STRATÉGIE D'HABILLEMENT

Effets de maillots de polyester sur les réponses psycho-physiologiques lors d'un exercice effectué dans un environnement chaud et humide.

Le tissage des maillots de cyclisme en polyester a-t-il une influence sur les réponses perceptives et physiologiques lors d'un effort d'endurance ?

INTRODUCTION

Les Jeux Olympiques de Pékin en 2008 ont été l'occasion de se poser beaucoup de questions sur le rôle d'un environnement chaud et humide sur les performances humaines. Il est généralement accepté qu'un environnement chaud et humide provoque des effets délétères sur la performance humaine (Kozlowski et coll., 1985 ; Hargreaves & Febbraio, 1998 ; Chan et coll., 2008 ; Hargreaves, 2008 ; Duffield et coll., 2009), et plusieurs auteurs ont testé les effets de différents textiles dans différentes conditions (Dai et coll., 2008).

Ha et coll. (1995) ont testé les différentes réponses suite au port de deux ensembles de vêtements (100 % coton *vs.* 100 % polyester) consistant en un T-shirt à manche courte et un pantalon long. Les résultats suggèrent que les ensembles en polyester induisaient une température centrale et une FC plus élevée. Cependant, comme l'évaporation par sudation est le principal moyen d'évacuer la chaleur corporelle dans un environnement chaud (Gavin et coll., 2001), Ha et coll. (1999) ont testé les réponses thermiques et physiologiques au port d'ensembles en polyester ou en coton avec différents niveaux d'absorption de la sueur et de perméabilité à l'air. Ils concluent que les ensembles en polyester induisent un microclimat plus humide entre le torse et le vêtement. A l'opposé, Brazaitis et coll. (2010) ont comparé deux T-shirts (100 % coton *vs.* 100 % polyester) et rapporté que lors du port de T-shirts en polyester, les températures cutanées étaient plus basses et que la sudation était plus efficace. Ces résultats sont en accord avec ceux de Roberts et coll. (2007), qui ont observé que les

vêtements en fibres synthétiques incorporant du polyester étaient une meilleure alternative à des T-shirts 100 % coton, tout en gardant comme objectif de conserver les réponses thermorégulatrices proches de celles d'un sujet torse nu et un confort optimal du sujet. Ciesielska et coll. (2009) n'ont pas confirmé ces résultats, rapportant qu'il n'était pas possible de définir clairement quel type de matériau était le meilleur étant donné que tous deux induisaient des effets différents sur l'organisme des sujets. Les auteurs concluaient que l'utilité d'un certain type de matériau semblait dépendre de l'état physiologique du sujet et des processus thermorégulateurs associés.

Cependant, ces résultats contradictoires pourraient être expliqués par la taille des mailles constituant les vêtements. La taille des mailles correspond aux espaces qui séparent les fibres. En effet, des mailles larges pourraient influencer la convection avec les flux d'air, ce qui pourrait augmenter l'extraction de chaleur corporelle vers l'atmosphère ambiante. À notre connaissance, l'impact de cette variable sur les réponses thermo-physiologiques et perceptives n'a pas encore fait l'objet d'études dans des environnements chauds. Notre hypothèse est que le maillot en polyester avec les mailles les plus larges, ayant donc une densité de textile plus faible, pourrait limiter le stress thermique en réduisant la dérive de la température cutanée, des valeurs de FC et de la PSE.

Ainsi, le but de cette étude est de vérifier l'influence de maillots en polyester fabriqués avec des mailles de différentes tailles sur les réponses physiologiques et perceptives de cyclistes entraînés lors d'un exercice effectué dans un environnement chaud et humide.

MÉTHODE

Sujets

Dix cyclistes masculins (Moyenne \pm Écart-Type, âge : $29,1 \pm 8$ années, taille : $177,12 \pm 5$ cm, poids : $70,10 \pm 6$ kg, indice de masse corporelle : $22,32 \pm 1,42$) de niveau régional se

sont portés volontaires pour participer à cette étude, après avoir donné leur consentement écrit.

Tous les sujets s'impliquaient dans un entraînement physique régulier. Les sujets devaient maintenir leur entraînement et habitudes alimentaires tout au long de l'étude. Chaque participant était familiarisé avec le protocole de test et l'équipement, mais aucun n'était informé des résultats attendus de l'étude. Tous les tests se déroulaient dans la même chambre climatique, aux mêmes heures de la journée en milieu de matinée. De même, les sujets devaient éviter toute activité physique intense pendant les deux jours précédant le test et ne pas s'entraîner le matin avant le test.

Procédure

Lors de leur arrivée, chaque sujet utilisait sa propre bicyclette sur laquelle était montée une roue arrière équipée d'un capteur de puissance intégré au moyeu (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris Cycling Group Inc., Madison, WI, USA) et installée sur un home-trainer calibré (CatEye CS-1000[®], Cat Eye[®] Co., Osaka, Japon) à l'intérieur de la chambre climatique. Aucun des participants n'était acclimaté aux conditions spécifiques de l'étude. Les sujets étaient équipés d'une ceinture thoracique pour enregistrer leur FC (PowerTap[®], Cycleops[®], Saris Cycling Group Inc., Madison, WI, USA), et d'un thermistore cutané (YSI 409B Temperature Probe[®], YSI[®] Inc., Yellow Springs, USA and Digi-Sense Thermistor thermometer model 60010-70[®], Barnant[®] Inc., Barrington, USA) placé sur leur torse au niveau du processus xiphoïde. Une fois équipés, les sujets devaient réaliser un échauffement standard constitué de 10 minutes de pédalage torse-nu à intensité croissante (3 minutes à 100 W, 3 minutes à 125 W, 3 minutes à 150 W et 1 minute à 175 W) à l'intérieur de la chambre climatique. Ce type d'exercice correspond aux intensités d'échauffement habituellement effectuées sur home-trainer par les compétiteurs de course sur route ou en BMX (Grappe, 2009), lorsqu'ils doivent effectuer au moins 2 épreuves et une finale lors de la même journée. Ensuite, il leur était demandé

d'effectuer les tests qui consistaient en 15 minutes de pédalage à une puissance externe développée constante de 150W. Afin d'obtenir une puissance constante dans les conditions environnementales particulièrement contraignantes choisies, nous avons décidé de proposer une intensité d'exercice inférieure à l'intensité moyenne développée par les sujets de la précédente étude (~220 W). Lors des pré-tests, cet exercice de 15 minutes de pédalage à 150 W avait engendré des valeurs de FC à 73% de FC_{max} théoriques, ce qui permettait l'enchaînement de 3 tests consécutifs sans induire de fatigue excessive.


Mailles Fines (SK)	Mailles Moyennes (MK)	Mailles Larges (LK)
100 % polyester	100 % polyester	100 % polyester
171 g.m ⁻²	160 g.m ⁻²	120 g.m ⁻²
Mailles espacées de 2mm	Mailles espacées de 3mm	Mailles espacées de 3,5mm
Noret [®] , France	Noret Dry Clim [®] , France	Nalini [®] , Italie
		

Tableau 5/ Caractéristiques des maillots de cyclisme testés

Chaque session de test s'est déroulée dans la chambre climatique où la température et l'humidité relative étaient précisément contrôlées. Afin de simuler des conditions réelles de pédalage, les sujets étaient rafraîchis par un ventilateur électrique délivrant un vent constant (2,78 m.s⁻¹). Pour chacun des 3 tests, les participants portaient l'un des trois maillots successivement, le choix du port du maillot étant déterminé de manière aléatoire. Les maillots avaient les caractéristiques décrites dans le Tableau 5, et des formes similaires. Afin d'obtenir

des conditions de test identiques, nous avons ouvert le col de chaque maillot sur 10 cm. Les maillots n'ont pas pu être testés sans être floqués des couleurs de l'équipe de France ; cependant, les conditions dans lesquelles les maillots ont été testés ne sont pas sensibles aux couleurs.

Afin d'éviter toute influence sur les réponses perceptives, les participants n'étaient pas autorisés à voir les maillots testés avant l'expérience, et ont donc effectué toute la session de test en aveugle. De plus, les participants n'étaient pas autorisés à toucher les maillots. Ainsi, c'est avec les poings fermés que les sujets étaient habillés par un expérimentateur. De ce fait, les sujets « en aveugle » ne pouvaient discerner le matériau porté que grâce à la peau du torse et du dos.



Figure V/ Sujet portant un masque aveuglant lors du test du maillot à mailles larges.

Tout en restant en aveugle (Figure V), les participants étaient fréquemment informés par un opérateur du temps écoulé, et du fait qu'ils développaient plus ou moins de 150 W afin qu'ils ajustent leur cadence pour maintenir cette puissance cible. Aucun des participants n'a fait part d'une quelconque gêne occasionnée par le port du masque les privant ainsi de repères sensoriels (Kriel et coll., 2007). Lors de l'échauffement standardisé, chaque participant était avisé que la puissance à développer lors du test correspondait au 3^{ème} niveau de l'échauffement, leur permettant ainsi de se familiariser avec l'intensité demandée.

Après chaque test, les sujets restaient assis pendant 20 minutes dans une pièce tempérée (25 °C et 50 % d'humidité relative) tout en portant une veste de refroidissement lors des 10 premières minutes (Ice-Shirt[®], Vtherm[®] Inc., Roche-Lez-Beaupré, France). Étant donné que chaque session comportait le test des 3 maillots, et grâce aux conclusions de l'étude n°1, l'utilisation d'une veste de refroidissement semblait un moyen efficace et rapide de permettre aux sujets de recouvrer des valeurs proches de celles de repos avant de recommencer un effort. Pendant les tests, la température de la surface externe du maillot (capteur fixé en regard de l'angle inférieur de la scapula gauche) était enregistrée toutes les 2 minutes (YSI 409B Temperature Probe[®], YSI[®] Inc. ; Yellow Springs, USA et Digi-Sense Thermistor[®] thermometer model 60010-70 ; Barnant[®] Inc., Barrington, USA).

Les perceptions subjectives de l'effort et du confort thermique ont été enregistrées toutes les 2 minutes en utilisant les échelles du RPE 6-20 (Borg, 1998) et l'échelle PMV (ASHRAE, 1996, Figure G) respectivement.

Au cours de l'expérimentation, les sujets pouvaient boire de l'eau (~14 °C) *ad libitum*.

ANALYSES STATISTIQUES

Les données sont présentées en terme de moyenne (M) et d'écart-type (ET). Étant donné que les données proposées dans cette étude satisfont les hypothèses statistiques pour l'utilisation de tests paramétriques statistiques (i.e. homogénéité de la variance et normalité de la distribution de l'échantillon), une analyse de la variance à 2 facteurs (3 conditions x 8 temps) a été utilisée, et suivie avec un test *post hoc* de Scheffé (Statview[®] SAS[®] Institute Inc. Version 5, Cary, NC, USA). La significativité statistique a été acceptée à un niveau de $P < 0,05$. L'effet de taille (ES) et le Coefficient de Corrélation Intraclasse (ICC) ont été calculés pour chaque test. La définition de Cohen (1988) pour les effets de taille petits, moyens et grand (ES = 0,2, 0,5 et 0,8 respectivement) a été utilisée. Une analyse de corrélation de Pearson a été effectuée entre : le confort thermique, la température cutanée du torse, la

température extérieure des maillots, la PSE et la FC. Tout changement notable dans la puissance externe développée lors du pédalage, indépendamment de la valeur de P, a été déterminé avec un coefficient de variation (CV) intra-individuel.

RÉSULTATS

Conditions environnementales

Aucune différence significative ($P > 0,05$) entre les conditions n'a été trouvée concernant la température de la chambre climatique (SK : $29,01 \pm 1,44$ °C ; MK : $29,10 \pm 0,84$ °C ; LK : $29,30 \pm 0,90$ °C) ou l'humidité relative (SK : $71,80 \pm 0,01$ % ; MK : $72,14 \pm 0,02$ % ; LK : $70,94 \pm 0,02$ %).

Consommation et perte de masse

Les résultats ne montrent pas de différence significative ($P > 0,05$) dans la consommation d'eau (SK : $0,45 \pm 0,18$ L ; MK : $0,42 \pm 0,15$ L ; LK : $0,37 \pm 0,16$ L) ou dans la perte de masse (SK : $0,30 \pm 0,28$ kg ; MK : $0,31 \pm 0,26$ kg ; LK : $0,27 \pm 0,25$ kg) des sujets.

Puissances développées

Concernant la puissance externe développée, aucun changement significatif n'a été trouvé ($P > 0,05$) parmi les 3 conditions. Cependant, les résultats indiquent un effet significatif du maillot porté sur la perception de la chaleur ($F = 11,14$; $P < 0,0001$; puissance = 0,99) ainsi qu'un effet temps ($F = 27,60$; $P < 0,0001$; puissance = 1) durant toute l'expérience ($151,62 \pm 6,95$ W vs. $149,74 \pm 5,38$ W vs. $152,16 \pm 4,06$ W, respectivement pour SK, MK et LK).

Les CV ne montrent pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les conditions (4 ± 3 % vs. 4 ± 3 % vs. 5 ± 3 %, respectivement dans les conditions SK, MK et LK).

Températures corporelles et des maillots

Un effet significatif du maillot porté sur la température cutanée du torse ($F = 5,20$; $P < 0,001$; puissance = 0,83) ainsi qu'un effet temps ($F = 31,49$; $P < 0,0001$; puissance = 1) a été trouvé sur toute la période de test. Comme indiqué dans la Figure W, une différence significative ($P < 0,05$) a été trouvée, concernant la température cutanée du torse, entre les maillots LK et SK aux minutes 10 et 14.

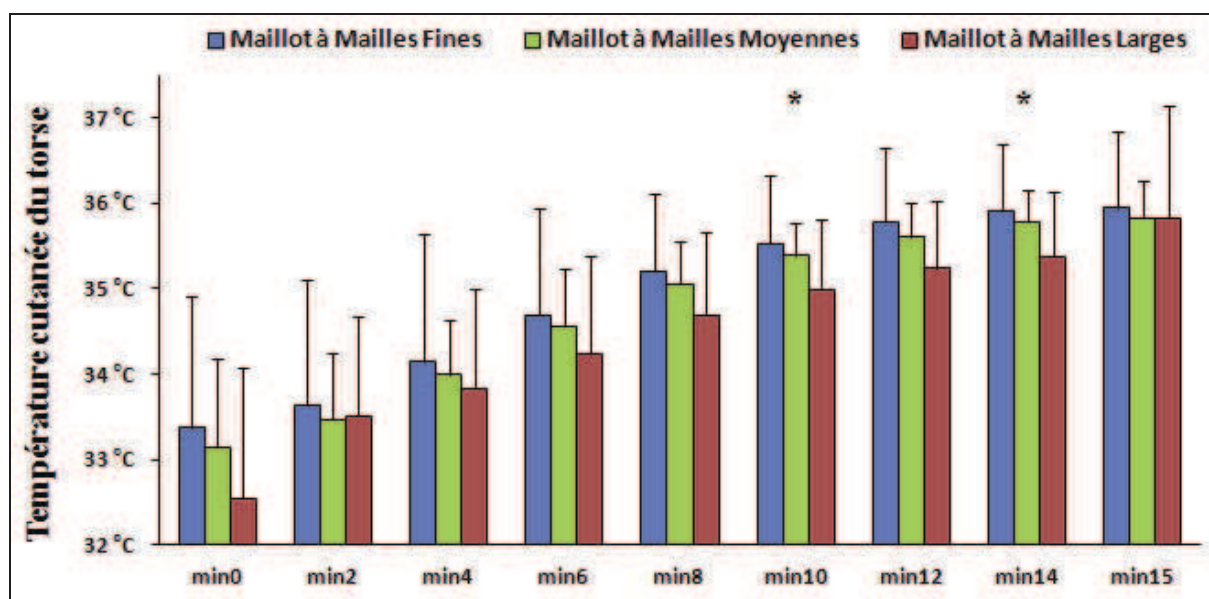


Figure W/ Température cutanée (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'un exercice de pédalage de 15 minutes à intensité constante lors du port de différents maillots de cyclisme. * Différence significative ($P < 0,05$) entre la condition mailles larges (LK) et la condition mailles fines (SK)

Un effet significatif du maillot a été observé concernant la température du maillot ($F = 6,42$; $P < 0,01$; puissance = 0,91) ainsi qu'un effet temps significatif ($F = 40,69$; $P < 0,0001$; puissance = 1) lors de l'expérience. Comme indiqué dans la Figure X, des différences significatives de la température du maillot ont été observées entre LK-SK après 12 minutes d'exercice, entre LK-MK après 14 minutes d'exercice.

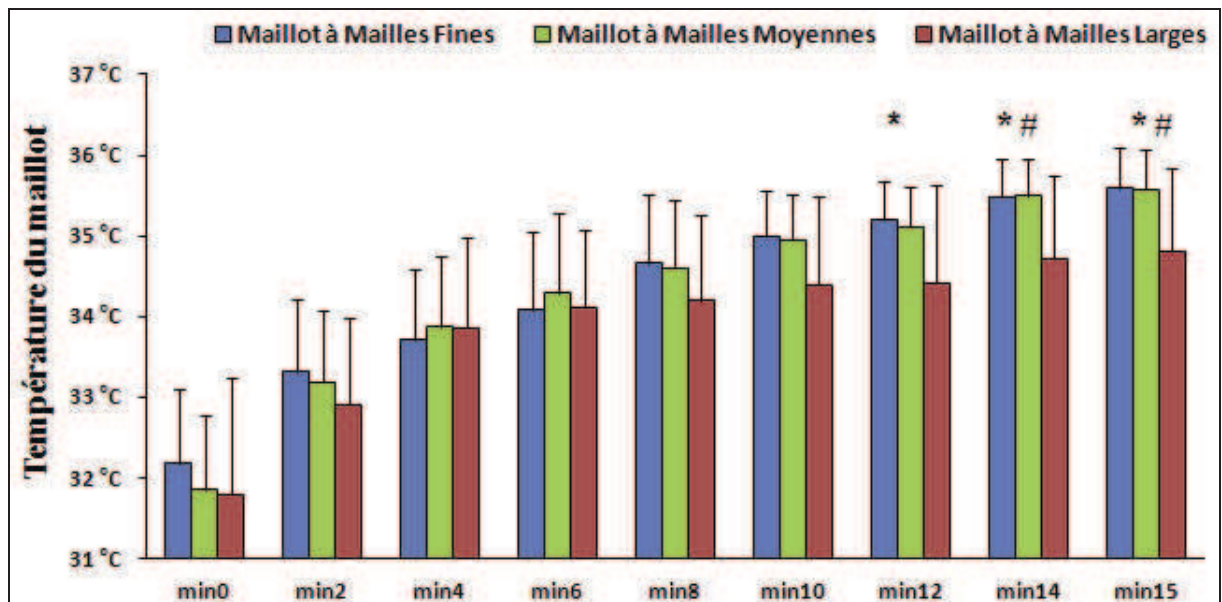


Figure X/ Température du maillot (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'une épreuve de 15 minutes de pédalage à puissance constante en portant différents maillots de cyclisme. * Différence significative ($P < 0,05$) entre la condition mailles larges (LK) et la condition mailles fines (SK). # Différence significative ($P < 0,05$) entre la condition mailles moyennes (MK) et la condition mailles fines (SK)

Fréquence cardiaque

De plus, un effet temps significatif a été trouvé ($F = 7,92$; $P < 0,0001$; puissance = 1), mais pas d'effet significatif du maillot porté ($F = 1,78$; $P > 0,05$; puissance = 0,35), concernant la FC sur toute la période de test.

Valeurs perceptives

Les résultats de la PSE montrent un effet temps significatif ($F = 3,83$; $P < 0,001$; puissance = 0,99) mais pas d'effet significatif du maillot porté ($F = 1,28$; $P > 0,05$; puissance = 0,26 ; SK : $10,61 \pm 0,94$; MK : $10,38 \pm 0,98$; LK : $10,10 \pm 0,68$). Les tests *post-hoc* révèlent des différences significatives ($P < 0,05$) sur le confort thermique entre SK et les deux autres maillots à la minute 10 et entre LK-SK à la minute 12 (Figure Y).

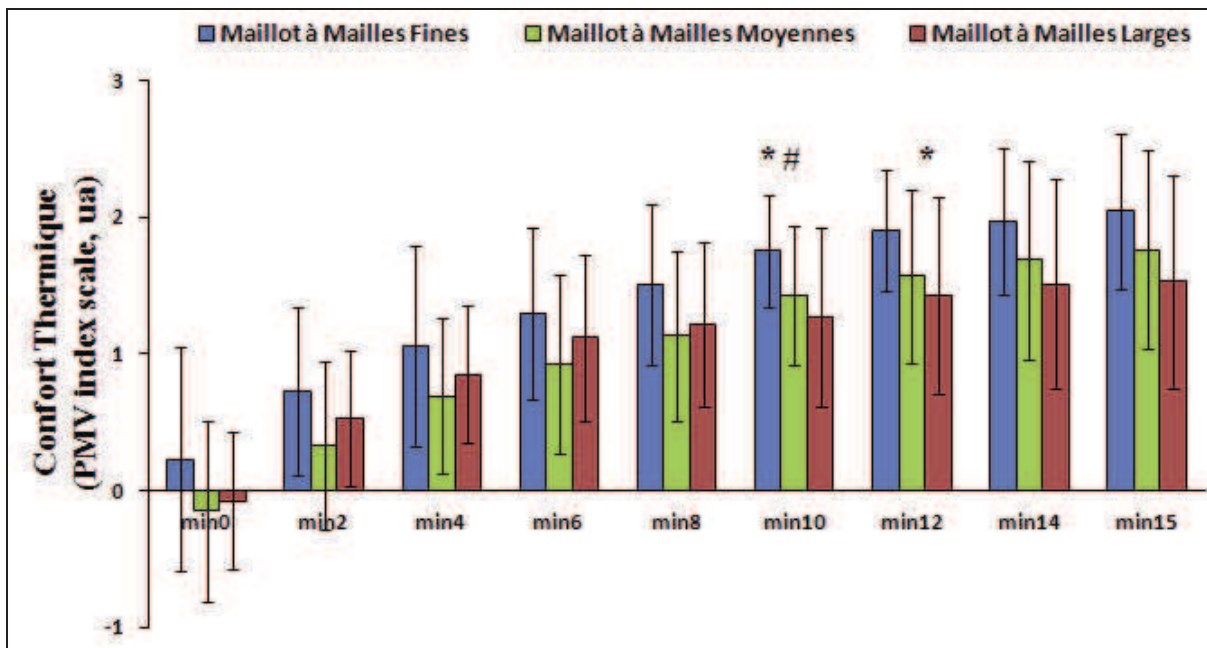


Figure Y/ Confort thermique (Moyenne \pm Écart-Type, $n = 10$) lors d'une épreuve de 15 minutes de pédalage à puissance constante en portant différents maillots de cyclisme. * Différence significative ($P < 0,05$) entre la condition maille larges (LK) et la condition mailles fines (SK). # Différence significative ($P < 0,05$) entre la condition mailles moyennes (MK) et la condition mailles fines (SK)

DISCUSSION

Le but de cette étude était de tester l'influence de maillots fabriqués avec des mailles de différentes tailles sur les réponses physiologiques et perceptives de cyclistes entraînés, le tout lors d'un exercice sous-maximal effectué dans un environnement chaud et humide. Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle la taille des mailles influencerait le confort thermique et la thermorégulation. L'absence de différences significatives de température ambiante, d'humidité relative, d'hydratation et de puissance externe développée par les sujets dans les différentes conditions suggère que les conditions environnementales et d'exercice ont été correctement contrôlés.

Cependant, le résultat le plus important de cette étude est que le port de maillots de cyclisme constitués de tailles de maille différentes influence le confort thermique et les réponses physiologiques des athlètes testés. En effet, une différence significative de la température cutanée du torse a été observée aux minutes 10 et 14 si l'on compare SK aux

deux autres maillots, et ce sans changement significatif de la masse des sujets. Ce résultat est confirmé par la différence significative de la température des maillots observée après 12 min. Ainsi, la différence significative du confort thermique enregistré entre les maillots aux minutes 10 et 12 semble confirmer ces observations. Par conséquent, il est possible que la taille des mailles affecte la dissipation de la chaleur. Le fait que la température de la surface extérieure des maillots soit environ 1 °C inférieur à la température cutanée semble confirmer cette hypothèse. Ce résultat est en lien avec ceux rapportés par Houdas & Ring (1982) qui suggèrent que la température cutanée baisse avec l'augmentation du flux d'air, augmentation due aux mailles plus larges, puisque la convection forcée par flux d'air a pour effet d'augmenter l'extraction de la chaleur du corps vers l'atmosphère.

Cependant, les différences significatives de confort thermique, de températures cutanées et du maillot observées lors des 3 conditions de port de maillot n'ont pas d'influence sur les réponses cardiaques lors de l'effort. En opposition avec les études précédentes (Maw et coll., 1993 ; Ha et coll., 1995), les vêtements testés ici n'ont pas entraîné de différences significatives concernant la PSE, ni la FC lors d'un exercice à intensité contrôlée. Ces résultats, précédemment rapportés par Roberts et coll. (2007), peuvent être expliqués par le fait que les participants testés ont effectué un effort court et à intensité modérée.

Les résultats montrent des corrélations fortes entre le confort thermique perçu et la température cutanée au cours des tests des maillots ($r = 0,752$ et $r = 0,688$; respectivement pour les maillots SK, MK). Il est intéressant de remarquer que lors du test du maillot LK, cette corrélation tombe à $r = 0,374$. Cette baisse de corrélation pourrait s'expliquer par l'influence d'autres paramètres dans la définition du confort thermique, ou d'un possible effet placebo du fait du ressenti différent du maillot par les sujets. En effet, les sujets avaient exprimé leur satisfaction globale au port du maillot LK comparé aux maillots SK et MK dans les termes suivants :

« Le maillot semble léger et aéré ; je ne sens pas le maillot et je ne ressens aucune gêne ; le maillot semble rugueux et souple, bien mieux que les autres ; il (le maillot) est plus souple, plus léger ! »

Alors que le port des maillots MK et SK avait entraîné d'autres commentaires de la part des sujets :

« (SK) est collant, chaud, et moins aéré sur le devant ; (SK) il est lourd et pas très agréable à porter ; (SK) est chaud et pas très confortable ; je sens qu'avec (MK) sur le dos, j'ai de plus en plus chaud, progressivement, et je ne suis pas à l'aise ; j'ai une sensation de chaud « partout », il (MK) est moins agréable et il colle plus que les autres. »

CONCLUSION

Comme suggéré par Gonzalez (1987) et dans les conditions environnementales de cette étude, un maillot de cyclisme constitué de polyester avec des mailles larges (3,5 mm d'écart avec une densité en textile de 120g.m^{-2}) améliore le contrôle de la température cutanée du torse et le confort thermique comparé à un maillot fait de mailles moyennes ou étroites (respectivement 3 mm d'écart avec une densité en textile de 160 g.m^{-2} et 2 mm d'écart avec une densité en textile de 171 g.m^{-2}). Par conséquent, les entraîneurs sont encouragés à faire particulièrement attention à ce que les athlètes soient habillés de manière appropriée lorsqu'ils doivent effectuer des exercices dans des conditions de chaleur et d'humidité importantes.

Il est probable que lors d'efforts plus intenses et/ou plus longs, les indices perceptifs et la FC soient affectés de manière significative, comme cela a été le cas dans les études de Duffield et coll. (2009) et de Shirreffs et coll. (2005).

DISCUSSION GÉNÉRALE / SYNTHÈSE DES ÉTUDES

Comme cela a été discuté après chaque étude, la littérature existante nous pousse à investiguer plus encore les différentes méthodes de refroidissement du corps lorsque des exercices sont effectués dans des conditions environnementales alliant chaleur et humidité (Kinnman et coll., 2000 ; Brotherhood et coll., 2008 ; Cheung, 2008 ; Hargreaves, 2008 ; Gaoua et coll., 2011). Nombreux sont les chercheurs (Castle et coll., 2006 ; Quod et coll., 2006 ; Ranalli et coll., 2010) qui se penchent sur une méthode alternative permettant d'éviter cette baisse de performance liée aux conditions environnementales. Plus rapides à mettre en œuvre que les jours d'acclimatation (Sunderland et coll., 2008 ; Brazaitis & Skurvydas, 2010 ; Lorenzo et coll., 2010), le refroidissement corporel a pour avantage d'avoir des effets immédiats. Au sein même de cette méthode, il existe de nombreux matériels offrant une multitude de combinaisons de protocoles. Parmi ceux-ci, il apparaît que l'utilisation de vestes de refroidissement (Arngrimsson et coll., 2004 ; Meyer-Heim et coll., 2007 ; Vernieuw et coll., 2007), de colliers (Tyler & Sunderland, 2011 a, b) ou de bandeaux (Ku et coll., 1996, 1999) soient les plus à même d'être utilisés lors des compétitions. En effet, la mise en place d'un refroidissement par immersion nécessite des moyens importants en termes de place, d'infrastructures et de temps. Les possibilités qu'offrent les vêtements refroidissants pendant un échauffement (Arngrimsson et coll., 2004), lors d'un exercice (Luomala et coll., 2012 ; Tyler & Sunderland, 2011 b), ou juste après l'effort (Barwood et coll., 2009 ; Brade et coll., 2010), en font les outils les plus pratiques dans le cadre d'une utilisation sportive. Les effets attendus des protocoles de refroidissement ont pour ambition d'augmenter le niveau de performance (Cotter et coll., 2011 ; Arngrimsson et coll., 2004 ; Duffield et coll., 2010), d'abaisser la température centrale (Brade et coll., 2010), la température cutanée (Imai et coll., 2011), les scores de perception de l'effort (Green et coll., 2007 b), de perception de la chaleur (Ku et coll., 1996, 1999) ou de confort thermique (Vernieuw et coll., 2007).

Les explications qui sont sous-jacentes à ces résultats sont rarement clairement identifiées et expliquées de manière péremptoire. Cependant, concernant l'amélioration de la performance suite à un refroidissement corporel, il semblerait que les facteurs et leurs origines soient multiples : facteurs physiologiques et psychologiques ou perceptifs.

Il semblerait que les arguments physiologiques soient en partie liés aux mécanismes impliqués dans les régulations vasculaires et thermiques, métaboliques et musculaires. Selon Mourot et coll. (2008), le refroidissement cutané engendre une baisse de la fréquence cardiaque via la vasoconstriction des vaisseaux périphériques qui provoqueraient une réduction du débit sanguin cutané, ce qui augmenterait les résistances périphériques. La pression artérielle s'élevant, les barorécepteurs induiraient une baisse de la fréquence cardiaque. De manière concomitante, il semble que cette vasoconstriction augmenterait la pression veineuse, ce qui améliorerait le retour veineux et le volume d'éjection systolique. Le corollaire immédiat d'une augmentation du volume d'éjection systolique est un abaissement de la fréquence cardiaque. Lors de la récupération, la FC reste élevée du fait de trois mécanismes principaux : i) la réoxygénation des muscles actifs lors de l'exercice, ii) l'apport de nutriments à ces mêmes muscles afin de reconstituer les stocks de glycogène, d'adénosine triphosphate et de phosphocréatine qui ont été consommés, iii) permettre à la température centrale élevée suite à cet exercice de s'abaisser par l'envoi de sang « chaud » vers les tissus périphériques et les vaisseaux cutanés pour évacuer cette chaleur. C'est ce troisième mécanisme qui semblerait être mis à contribution lors du refroidissement cutané et qui accélérerait la récupération cardiaque. Cette hypothèse est confirmée par le taux de refroidissement central plus rapide lors de la récupération et du port simultané d'un dispositif de refroidissement (Brade et coll., 2010). Elle pourrait être aussi à l'origine de l'augmentation de la performance dans les exercices de moyenne endurance (moins d'une heure) en bénéficiant du même phénomène.

Par contre, il semblerait que lors de sprints, ce phénomène ne soit pas efficace, ou alors, pas suffisamment. Mis à part dans l'étude de Castle et coll. en 2006, où la P_{max} a été améliorée suite à l'application de packs de glace sur les cuisses, les études récentes (Imai et coll., 2011) s'intéressant à la performance de sprint suite à un refroidissement concluent à des baisses de performance. Il est vraisemblable que la composante aérobie du Wingate Test ne soit pas suffisante dans un sprint de 30 secondes et qu'il faille dépasser les 50 secondes d'exercice (Marsh & Sleivert, 1999) pour que l'amélioration soit observée. Il serait alors possible qu'une part du métabolisme impliqué dans la fourniture de l'énergie pour effectuer l'effort soit sensible au refroidissement, mais ceci selon un mode qui n'est pas encore expliqué.

En 2008, Cheung s'interrogeait sur les conséquences d'une exposition à la chaleur sur les fonctions musculaires, de la commande cérébrale jusqu'à l'organe effecteur. Tout d'abord, les potentiels d'action sont altérés (augmentation de la vitesse de conduction des nerfs sensitifs et moteurs, baisse drastique des amplitudes, durées et fréquences). L'hypothèse sous-jacente à cette explication serait la modification de la température d'ouverture des canaux ioniques (Na^+ et K^+). A l'inverse, une augmentation de la température musculaire permettrait de développer un plus haut niveau de force en stimulant les substrats énergétiques. L'auteur conclut en pointant du doigt les observations faites sur les études concernant la puissance musculaire développée en constatant que l'hyperthermie aurait une double action simultanée en réduisant l'activation musculaire et nerveuse tout en permettant un plus grand niveau de force produite. La contrepartie serait la moindre tolérance à soutenir un effort et la propension à en réduire l'intensité de plus en plus rapidement comparé à des températures de neutralité thermique.

Lors de l'étude concernant les stratégies d'habillement des sportifs dans de telles conditions environnementales, il apparaît que la température cutanée suit de près la

température extérieure des maillots. Il serait donc important de bien prendre en compte ce facteur « matériel » lors de protocoles menés en physiologie de l'exercice. En effet, une meilleure capacité à laisser circuler l'air et/ou une légèreté plus importante des maillots permettent d'obtenir une meilleure évacuation de la chaleur du corps en permettant une meilleure évaporation, et selon les matériaux utilisés pour les vêtements, un transport de la sueur ruisselante sur la peau plus ou moins aisée vers l'extérieur dudit maillot. La contrainte thermique est donc amoindrie par le simple port d'un maillot synthétique constitué de larges mailles. L'époque du « tout coton » (Dai et coll., 2008 ; Ha et coll., 1999 ; Gavin et coll., 2001) ne semble plus d'actualité, et de nouvelles matières, de nouveaux mélange textiles permettent par exemple d'abaisser significativement la température de la peau, le confort thermique, et il serait intéressant de vérifier les effets du port de différents types de textiles sur des courses de longue durée.

Les réponses perceptives exprimées par l'ensemble des sujets évalués lors des différentes études suscitent un certain nombre de réflexions et de perspectives concernant les relations potentielles entre perception de l'effort, confort thermique, thermorégulation et performance physique. Nous pouvons observer 4 situations distinctes :

- Lors d'un exercice léger et continu de 15 minutes à 150 W, le contrôle de la température corporelle par le port d'un vêtement avec un maillage large n'a pas d'influence sur la PSE ni sur la fréquence cardiaque, mais en revanche, améliore significativement le confort thermique en diminuant la température cutanée (Figure Z).

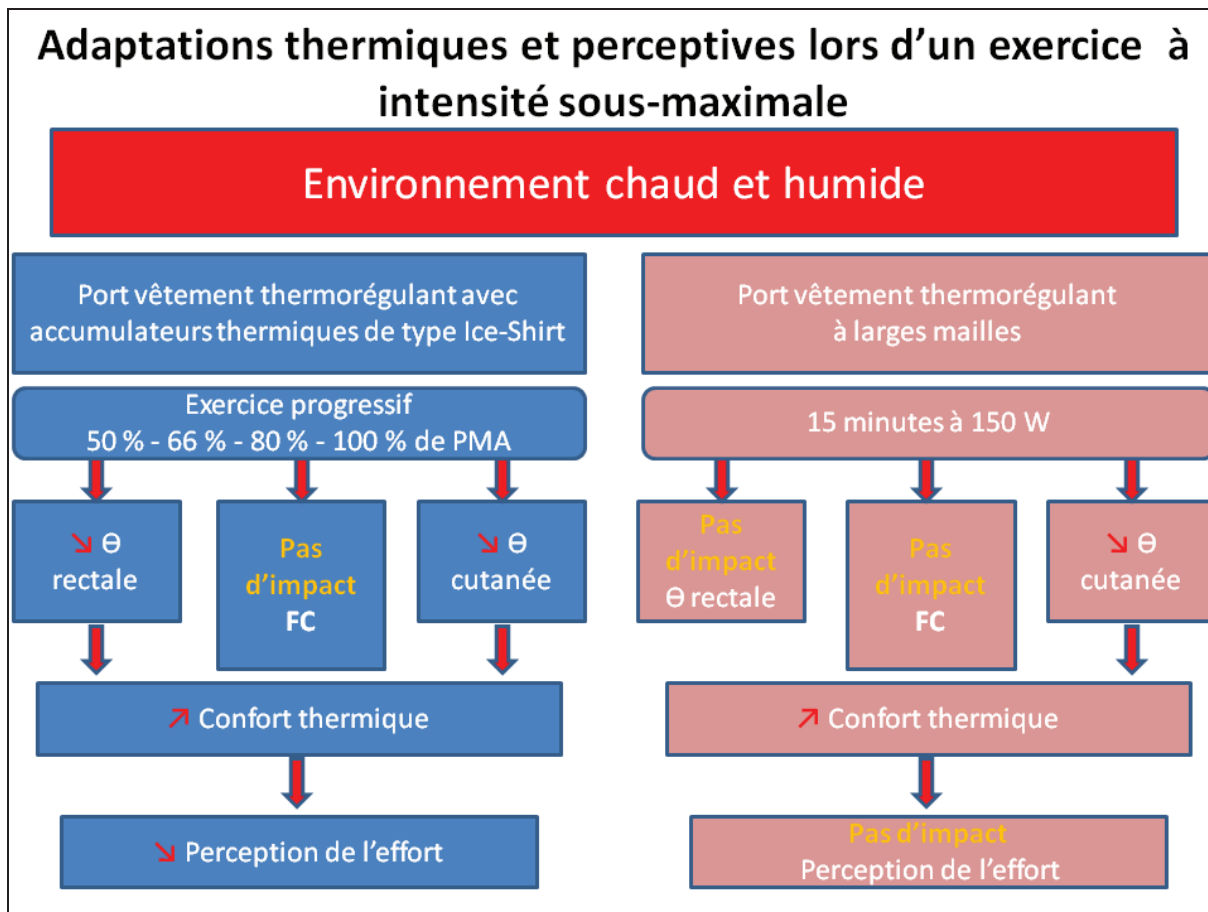


Figure Z/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives lors d'un exercice en cyclisme effectué à intensité sous-maximale et dans un environnement chaud et humide

- Lors d'un exercice d'intensité progressive sous maximale de 17 minutes, le contrôle de la température corporelle par un vêtement garni d'accumulateurs thermiques n'a pas non plus d'effet sur la fréquence cardiaque, mais améliore le confort thermique, en réduisant les températures cutanées et rectales, et diminue la PSE (Figure Z).
- Lors d'un exercice continu et d'intensité maximale autorégulée de 30 secondes ou 20 minutes, le contrôle de la température corporelle par un vêtement garni d'accumulateurs thermiques porté durant l'échauffement n'influence pas, lors de l'effort, la fréquence cardiaque mais améliore le confort thermique en réduisant la température cutanée sans modifier la PSE (Figure AA).

Adaptations thermiques et perceptives lors d'un exercice maximal à allure autorégulée

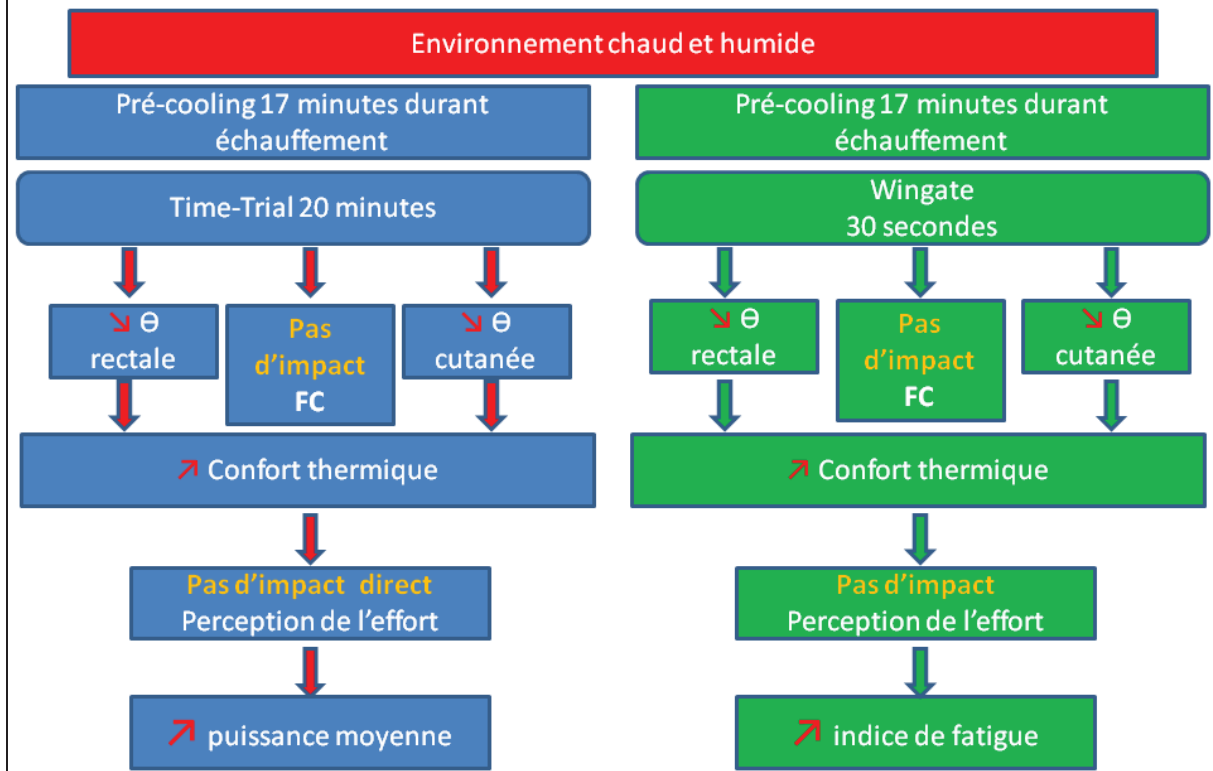


Figure AA/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives lors d'un exercice effectué à intensité maximale et dans un environnement chaud et humide

- Lors de la récupération suite à un exercice d'intensité maximale autorégulée de 20 minutes, le contrôle de la température corporelle par un vêtement garni d'accumulateurs thermiques portés durant les 15 premières minutes d'une récupération de 30 minutes diminue la fréquence cardiaque, améliore le confort thermique en réduisant la température cutanée, et favorise l'homéothermie en diminuant la température rectale (Figure BB).

Adaptations thermiques et perceptives en récupération

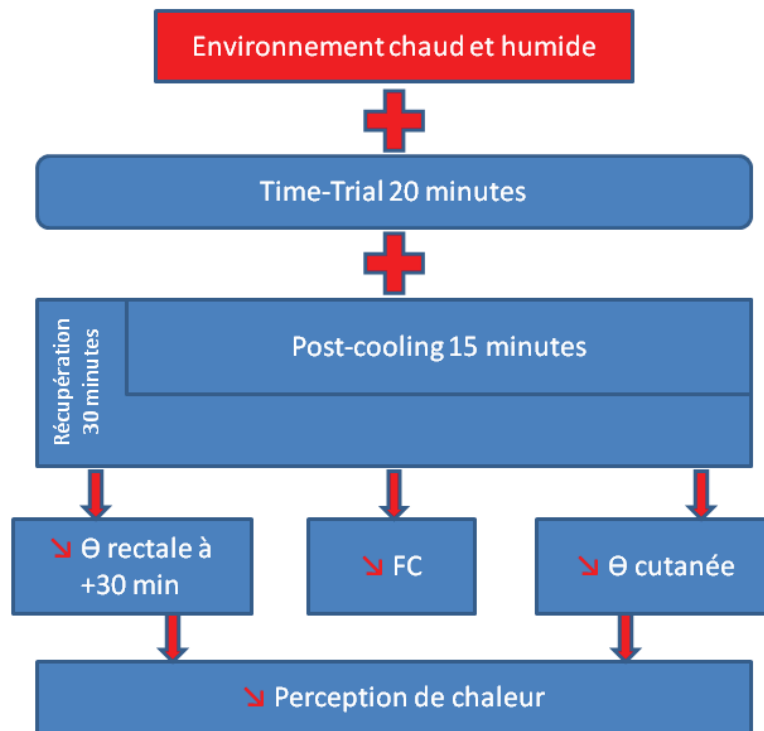


Figure BB/ Synthèse des adaptations thermiques et perceptives suite au refroidissement corporel lors de la récupération d'un effort effectué dans un environnement chaud et humide

Par conséquent, il apparaît que la pénibilité de l'exercice est une variable essentielle qui modifie l'influence de la température corporelle sur la PSE. Les résultats de nos différentes études montrent que la PSE est sensible à la température corporelle uniquement lorsque l'exercice est sous-maximal. Lorsque la pénibilité de l'exercice est légère ou maximale, la PSE pourrait être influencée par d'autres variables psychologiques, comme la motivation et les stratégies cognitives, ou physiologiques, comme la consommation d'oxygène ou la tolérance aux lactates (Robertson & Noble, 1997).

Ainsi, l'abaissement de la température cutanée permettrait de détourner l'un des paramètres impliqués dans l'arrêt précoce de l'exercice quand il est effectué dans des conditions environnementales extrêmes de chaleur et d'humidité à une intensité sous-maximale.

St Clair Gibson & Noakes (2004) ont formulé l'hypothèse de l'existence d'un « gouverneur central » qui permettrait de réguler l'intensité de l'effort à fournir en fonction de paramètres aussi bien physiologiques (la pression artérielle, la fréquence cardiaque, la température cutanée, centrale, œsophagienne) et psychologiques tels que le degré de motivation, le degré d'implication dans la tâche, la perception de la difficulté de cette tâche, la douleur, le temps écoulé ou restant, etc. En accord avec cette idée, nous émettons l'hypothèse que dans ce réseau du gouverneur central, la température cutanée soit une composante majeure du confort thermique du sujet, et que cette donnée soit d'une importance majeure lors de l'exécution d'un exercice dans un environnement chaud et humide. La modification du confort thermique amènerait le gouverneur central à relayer cette donnée au second plan, tant que celui-ci n'est pas entamé par des sensations de mal-être. Ainsi, tant que le sujet reste dans une zone de confort thermique avec « une réserve d'accumulation de chaleur disponible », le gouverneur central aurait la possibilité de ne pas prendre en compte cette donnée et de se focaliser sur la commande motrice, le recrutement musculaire, le retour sanguin, la perception de l'effort ou tout autre paramètre qui intégrerait les calculs complexes auxquels il se livre. Ce processus de téléoanticipation (Ulmer, 1996) nous paraît comme primordial dès lors qu'un processus complexe entre dans le travail du gouverneur central. En effet, nous n'observons pas, dans l'étude n°2, de différences sur les performances brutes des sujets, mis à part les indices de fatigue. Peut-être pouvons-nous émettre l'hypothèse qu'il s'agisse là d'une conséquence de cette téléoanticipation et du calcul savant du gouverneur central. En effet, lors d'une épreuve de Wingate Test, la téléoanticipation (Coquart et coll., 2012 a) est limitée car réduite à son strict minimum : une période relativement courte (30 secondes) pendant laquelle le sujet doit développer une puissance maximale sur bicyclette. Très peu de paramètres semblent alors pris en compte par le gouverneur central : la puissance mécanique à développer sur les organes effecteurs, le sens de l'équilibre n'est pas sollicité comme il

pourrait l'être si le sujet n'était pas sur un home-trainer, la notion de temps à effectuer est somme toute assez courte, la commande motrice est cyclique, etc. Il semblerait qu'un exercice simple tel qu'un Wingate Test ne nécessite que très peu de téléoanticipation et ne sollicite donc que très peu le gouverneur central. Le nombre de paramètres entrant dans le calcul de celui-ci étant restreint, les leviers sur lesquels les scientifiques peuvent jouer pour en améliorer les performances en seraient alors réduits. À l'inverse, sur une épreuve similaire à celle de l'étude n°1, de nombreux autres paramètres (Coquart et coll., 2012 b) entrent en jeu :

- l'adoption d'une stratégie de course afin de pouvoir accomplir la tâche demandée,
- l'exposition aux conditions climatiques sur une plus longue durée,
- l'adoption d'une stratégie d'hydratation,
- la contrainte supplémentaire de n'avoir aucun retour sur l'allure,
- la vitesse à laquelle allaient les sujets,
- le manque de données concernant le temps qu'il leur restait avant d'atteindre les 20 minutes de temps de travail.

Ainsi, avec la multiplication des paramètres entrant dans ce processus complexe qu'effectue le gouverneur central, les athlètes multiplieraient les points de leviers sur lesquels mettre en œuvre une aide exogène ou un processus d'entraînement afin d'en améliorer les performances. Néanmoins, des études complémentaires menées dans des conditions climatiques variées (température, humidité, vent, etc.) s'avèrent nécessaires pour valider ce modèle d'autorégulation de l'effort réalisé dans un environnement extrême.

Comme les conditions environnementales ont un effet négatif sur les performances humaines, et que le refroidissement corporel ainsi qu'un habillement adéquat permettrait d'en diminuer les effets délétères, il semble que les athlètes devant effectuer des efforts en été, ou sous des latitudes où règnent ces ambiances thermiques extrêmes de chaleur et d'humidité, sont les premiers concernés. Cependant au regard de la littérature, d'autres populations spécifiques peuvent faire appel à ce type de méthode afin de diminuer le stress thermique et ses conséquences sur le corps, comme les métiers exposés aux conditions extérieures, comme les pompiers ou les emplois du BTP, mais aussi certains patients atteints de maladies neurodégénératives affectant les centres nerveux centraux. Et c'est vers cette dernière population que notre regard s'est tourné. Les patients atteints de maladies neurodégénératives dont les centres nerveux centraux sont touchés peuvent voir leur centre thermorégulateur perturbé par ces atteintes neurologiques (noyau pré-optique de l'hypothalamus, ou dégénérescence des nerfs sensitifs). Parmi ces maladies ou handicaps nous pouvons citer les tétra/paraplégies, les maladies de Parkinson, d'Alzheimer et de Huntington, les leucodystrophies et la sclérose latérale amyotrophique. On caractérise la sclérose en plaques (SEP) notamment par une intolérance aux ambiances chaudes, et qui atteint près de 80 % des patients souffrant de cette neurodégénérescence. Ainsi, un rapprochement avec le service de Neurologie du CHU de Besançon, en la personne du chef de service le Pr Lucien RUMBACH, ainsi qu'avec le Centre d'Investigation Clinique, et des Innovations Technologiques (CIC-IT), représenté par son responsable le Dr Lionel PAZART, s'est effectué afin de constituer un groupe de travail sur cette problématique d'amélioration de la qualité de vie en luttant contre la thermosensibilité au chaud des patients atteints de SEP.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

PROJET THERMOSEP

Refroidissement corporel et performances cognitives chez les patients atteints de SEP : étude exploratoire.

INTRODUCTION

La SEP est une maladie neurodégénérative qui touche près de 80000 patients en France, avec plus de 2000 nouveaux cas chaque année. C'est une pathologie qui touche pour près de 70 % des femmes (Edlich et coll., 2004) et qui, dans sa forme la plus répandue, évolue selon un schéma de « poussées » (rémittente). Au cours des celles-ci, les symptômes sont exacerbés, voire de nouveaux symptômes se déclarent, suivis d'une période de cicatrisation neurologique pendant laquelle les patients recouvrent à différents degrés leurs facultés cognitives et motrices, ou dans les cas de poussées plus importantes, peuvent perdre certaines capacités de manière permanente si la cicatrisation ne se déroule pas ou pas complètement. Parmi les facteurs aggravant l'état de santé du patient, la chaleur semble jouer un rôle important, (Petrilli et coll., 2004 ; MacAllister & Krupp, 2005 ; Béthoux, 2006 ; Tataru et coll., 2006 ; Pöhlmann & Feneberg, 2008) étant donné que plus de 80 % des patients atteints de SEP seraient thermosensibles au chaud (Freal et coll., 1984 ; Guthrie & Nelson, 1995). Dès lors, l'utilisation de méthodes de refroidissement corporel cutané et/ou central pourrait avoir un bénéfice sur la qualité de vie de ces patients.

Afin d'en diminuer la symptomatologie associée à la chaleur, certaines études se sont intéressées aux effets potentiels sur la motricité et la spasticité (Beenaker et coll., 2001 ; Schwid et coll., 2003 ; Feys et coll., 2005 ; Nilsagard et coll., 2006 ; Meyer-Heim et coll., 2007 ; Grahn et coll., 2008 ; Hidasi et coll., 2009 ; Miller et coll., 2010). D'autres études se sont portées sur les troubles neuromusculaires (Chaudhry et coll., 1993 ; Robinson et coll., 1997 ; Albrecht et coll., 1998), circulatoires (Geirsson et coll., 1994 ; Pringle et coll., 1995),

visuels (Romani et coll., 2000), sur l'amélioration du niveau de fatigue perçue (Capello et coll., 1995), ainsi que sur le confort et la mobilité des patients (Van Diemen et coll., 1992 ; Ku et coll., 1996, 1999 ; Flensner & Lindencrona, 2002). A notre connaissance, les études menées en ce sens concernant les performances cognitives nuancent les améliorations en pointant des résultats contradictoires. Ainsi, Geisler et coll. ont observé en 1996, suite à une période de cooling, une augmentation du temps de latence des potentiels évoqués ainsi que des performances cognitives plus faibles chez les patients atteints de SEP *versus* patients sains. L'hypothèse principale développée par les auteurs serait que le refroidissement ralentirait la vitesse de conduction nerveuse, améliorant ainsi certaines capacités, mais ceci au détriment d'autres capacités. Tandis que Simmons et coll. (2008 a) rapportaient que le refroidissement de la tête et de la nuque chez des patients atteints de SEP améliorait le confort thermique, mais n'engendrerait que de faibles différences sur les réponses cognitives. Leur conclusion était que l'augmentation combinée de la température centrale et cutanée engendrerait des baisses de performances cognitives. Leur hypothèse étant que l'augmentation de la température corporelle augmenterait la vitesse de conduction au niveau central, mais diminuerait la motricité fine et la précision des mouvements de la main.

Ainsi, le but de cette étude exploratoire sera de déterminer les effets du port d'un T-shirt réfrigérant sur les performances cognitives et motrices de patients atteints de SEP. Notre hypothèse est que les patients volontaires pourraient améliorer leurs scores aux tests cognitifs et moteurs, mais qu'ils puissent aussi éprouver une baisse de l'apparition de symptômes à J+1 ainsi qu'une sensation de fatigue générale moindre à J+8 suite au port de ce T-shirt.

MÉTHODE

Sujets

15 sujets volontaires participeront à cette étude qui se déroulera lors des consultations régulières au service de Neurologie du CHU de Besançon.

Critères d'inclusion

Afin de participer à l'étude, une liste de critères d'inclusion a été établie, dont voici les caractéristiques :

- Patients thermosensibles au chaud et éprouvant une sensation de fatigue accrue suite à un bain chaud, ou lors de conditions climatiques chaudes (Capello et coll., 1995)
- Âgés de plus de 18 ans et de moins de 55 ans inclus,
- Patients capables de se déplacer par leurs propres moyens,
- Patients dont le score EDSS (Expanded Disability Status Scale) (Figure CC) est compris entre 2 et 6 inclus,
- Patients affiliés au régime de la Sécurité Sociale.

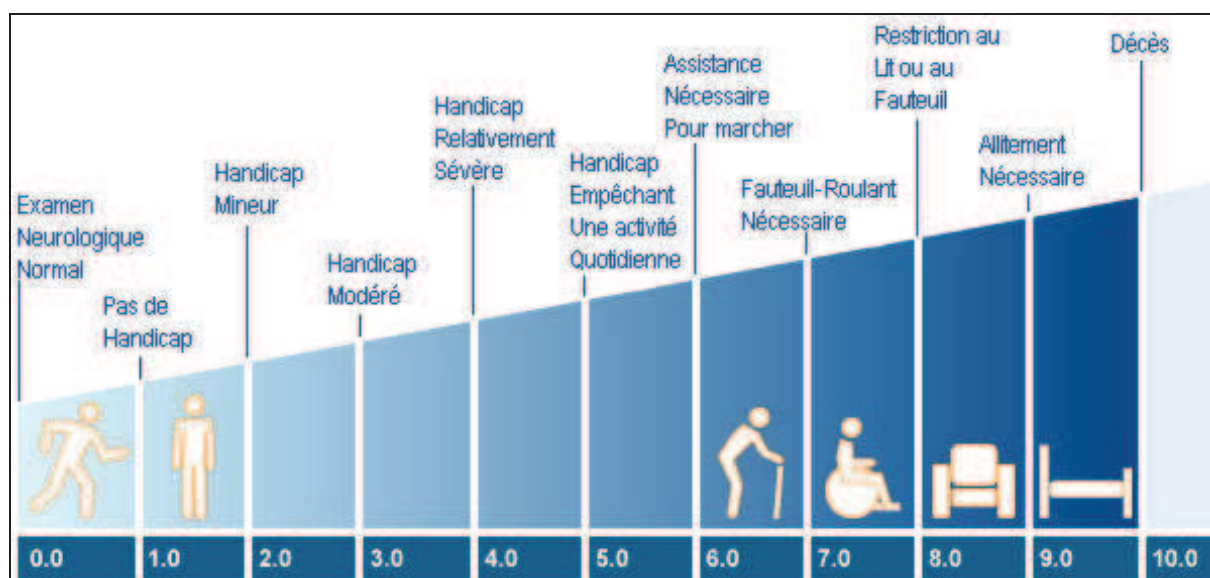


Figure CC/ Échelle EDSS - simplifiée - de caractérisation de l'atteinte d'un handicap physique (Kurtzke, 1983)

Critères de non-inclusion

Dans le cadre de cette étude, pour permettre un recueil de données optimal dans l'optique de la constitution d'un groupe de sujets homogène, des critères d'exclusion ont été établis comme suit :

- Absence de signature du consentement éclairé,
- Absence d'affiliation au régime de la Sécurité Sociale,
- Patients sous tutelle ou curatelle,
- Patients non thermosensibles au chaud,
- Patients dont le score d'EDSS est inférieur à 2 et supérieur à 6 exclus,
- Patients ayant réalisé un bilan neuropsychologique au cours des 6 derniers mois afin d'éviter tout effet d'apprentissage,
- Patients en période de poussée, ou ayant subi une poussée dans les 60 jours qui précèdent le début du protocole,
- Patients atteints de pathologies cardiaques, vasculaires, respiratoires ou motrices incompatibles avec le test de marche.

Protocole

À l'occasion d'une consultation habituelle au CHU, les patients volontaires seront accueillis par les expérimentateurs, et les données d'âge, de taille, de poids et d'indice de masse corporelle (IMC) des sujets sont enregistrées. Puis les sujets seront équipés d'un cardiofréquencemètre (Polar RS800[®], Polar[®] Electro OY, Finlande) et de capteurs de température cutanée (YSI 409B[®] Temperature Probe, YSI Inc[®]., Yellow Springs, OH, USA et Digi-Sense Thermistor thermometer model 60010-70[®], Barnant[®] Inc., Barrington, IL, USA) placés sur le torse (processus xiphoïde), au milieu du biceps brachial, au milieu du quadriceps et au milieu du triceps sural droits. Puis les sujets seront invités à revêtir un T-shirt en coton au-dessus duquel ils devront porter un T-shirt sans accumulateur (Ice-Shirt[®], Vtherm[®], Roche Lez Beauré, France). Lors de cette phase de préparation des sujets, les échelles de PSE CR-10 (permettant l'évaluation de la douleur et de la pénibilité de l'exercice) de Borg (1998) et de perception du confort thermique PMV Scale (ASHRAE, 1996) seront utilisées. Une fois équipés et informés du déroulement du protocole, les sujets devront alors compléter successivement une série de tests. Cette série comportera le test de Fluence Verbale (Set Test d'Isaacs), des tests de rapidité idéomotrice (Crossing Off Test, Trail Making Test A, Trail Making Test B), un test de marche de 7,5 m (25-feet test de Fisher et coll. 1999), un test d'équilibre unipodal (Hill et coll. 1996), le test de Transfert Up and Go (Podsiadlo et coll., 1991) et le test de dextérité manuelle du 9-Holes Peg Test (Mathiowetz et coll., 1985). La fréquence cardiaque, la variabilité cardiaque ainsi que les températures cutanées seront enregistrées en continu. Avant chaque test, et à l'issue de celui-ci, la température tympanique, la PSE, le confort thermique ainsi que l'évaluation de l'état de fatigue générale via le questionnaire *Multidimensional Fatigue Inventory* (Smets et coll., 1995) seront mesurées. Tous les tests seront menés dans des conditions de température et d'humidité contrôlés dans une salle à température ambiante neutre ($\sim 20 \pm 2$ °C ; $\sim 35 \pm 15$ % d'humidité relative).

Suite à cette première série de tests, les sujets seront invités à rester passivement pendant 45 minutes à regarder un document animalier dans une pièce thermiquement neutre, mais cette fois-ci en portant des accumulateurs de froid dans le T-shirt prévu à cet effet. A la fin du film, les patients devront recommencer la série de tests, dans le même ordre. Vingt-quatre heures après l'intervention, les sujets devront remplir un questionnaire d'évaluation de la perception des symptômes spécifiques à la SEP (Nilsagard et coll., 2006), et 8 jours après intervention, les sujets devront remplir un second questionnaire évaluant la perception de la fatigue (Smets et coll., 1995).

Ce protocole d'étude a été présenté et validé par le Comité de Protection des Personnes Est-II le 28 octobre 2011 sous la référence 11/607 (Publication 4, p.151).

RÉSULTATS ATTENDUS ET SUITES AU PROJET

Cette étude exploratoire a pour but de déterminer si le port d'un T-shirt réfrigérant permet d'améliorer les performances cognitives et motrices en conditions de laboratoire. Cependant, grâce aux entretiens des patients lors des consultations régulières au CHU, il s'avère qu'au cours de l'exécution de leurs tâches quotidiennes, les patients éprouvent des difficultés à accomplir certaines d'entre elles selon les périodes de l'année, ou l'apparition de poussées. De ce constat, et afin d'améliorer la qualité de vie des patients atteints de SEP, est née l'idée de proposer de tester les effets de ce T-shirt réfrigérant dans des conditions naturalistiques. Cette étude prendrait en compte comme critère principal d'amélioration le degré d'accomplissement des tâches référentes interindividuelles, couplé à des questionnaires de fatigue, de perception de l'effort, du confort thermique ainsi que des mesures de fréquences cardiaques. Le projet de cette étude stipule que pour optimiser les effets de ce port d'un T-shirt réfrigérant, les périodes sur lesquelles il sera porté devront se situer lors des changements climatiques importants (printemps – été) et sur des périodes suffisamment longues (1 mois). De plus, des questionnaires sur le confort perçu du port du T-shirt, sur sa

facilité de mise en place et d'utilisation pourront compléter cette étude. L'objectif étant d'améliorer et de personnaliser ce type de vêtements intelligents afin d'éventuellement l'adapter à la population spécifique des patients atteints de SEP.

Les résultats attendus de cette étude seraient d'observer une amélioration significative des capacités des patients à effectuer des tâches particulières, référentes à chacun des patients lors de périodes de poussée, de chaleur intense, ou lors de changements brutaux de températures sur de courtes périodes. En permettant à un maximum de sujets d'intégrer le protocole de recherche, il serait ainsi possible de tenter une extrapolation des données aux patients atteints de SEP en fonction des activités référentes interindividuelles (capacité à effectuer des tâches quotidiennes précises, à accomplir une tâche motrice particulière, etc.).

Dans l'attente de la mise en place de ces protocoles portant sur les effets du refroidissement corporel et sur les aptitudes physiques et cognitives des patients atteints de SEP, l'étude de la littérature nous permet de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans cette intolérance à la chaleur des patients. Quelques pistes d'explication existent déjà dans la littérature comme la démyélinisation (Zlochiver, 2010), le double rôle du NO – qui augmente avec l'apparition des symptômes liés à la chaleur (Alzeer et coll., 1999) et qui régule l'activité immunologique (Parkinson et coll., 1997) – ou la modification de l'activité nerveuse due à la température (Cheung, 2008). Nous émettons l'hypothèse que le refroidissement du haut du corps chez des patients atteints de SEP engendrerait un meilleur confort thermique, abaisserait le niveau de fatigue perçue (lors des activités quotidiennes et générale) et améliorerait les aptitudes cognitives impliquées dans des tâches de fluence verbale et de rapidité idéo-motrice.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nos travaux avaient pour fil conducteur la modification de la perception de l'effort et de la chaleur dès lors qu'un individu est exposé à des conditions environnementales posant un véritable challenge pour son homéostasie. Comment l'homme s'organise-t-il afin de faire face à cette contrainte thermique, qui plus est lors de l'exécution d'un exercice plus ou moins long et/ou intense chez des sportifs, ou lors de la survenue de symptômes aigus dus à une maladie neurodégénérative pour des patients atteints de sclérose en plaques ? Ce sont les questions auxquelles ces 5 années de travail ont tenté de répondre en prenant en compte non seulement certaines variables physiologiques impliquées dans la thermorégulation, mais aussi les paramètres perceptifs, indissociables du traitement de l'information environnementale pour les centres nerveux intégrateurs. Il semblerait que dans le cadre d'efforts effectués dans des conditions de chaleur et d'humidité extrême, la dégradation des performances sportives ne soit pas irréversible, et que l'adoption de stratégie de refroidissement, combinée à des équipements textiles appropriés permettent de limiter les effets sur les performances sportives. En refroidissant le haut du corps, il est possible d'observer une amélioration non seulement des performances sportives, mais aussi du confort thermique des athlètes. Or il apparaît que le confort thermique fait partie intégrante des variables prises en compte par le « gouverneur central » pour calculer, prévoir, et réguler la production d'effort dans les limites de l'intégrité physique du sujet.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MOTS-CLÉS UTILISÉS POUR LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Activités physiques

Cooling cognition

Cooling exercise

Cooling exertion

Cooling garment

Cooling-suit

Cryotherapy sports

Exercise in the heat

Exercise recovery

Pathologies

Exertion multiple sclerosis

Multiple Sclerosis Heat

Pain multiple sclerosis

Quality of life multiple sclerosis improvement

Sclerosis cognition

Sclerosis cooling

Sclerosis exercise

BIBLIOGRAPHIE

1. Alberton CL, Antunes AH, Pinto SS, Tartaruga MP, Silva EM, Cadore EL, Martins Krueger LF. Correlation between rating of perceived exertion and physiological variables during the execution of stationary running in water at different cadences. *J Strength Cond Res*, 2011, 25(1): 155-162.
2. Albrecht H, Schwecht M, Pöhlmann W, Parag D, Erasmus LP, König N. Local ice application in therapy of kinetic limb ataxia. Clinical assessment of positive treatment effects in patients with multiple sclerosis. *Nervenarzt*, 1998, 69: 1066-1073.
3. Almudehki F, Girard O, Grantham J, Racinais S. Hot ambient conditions do not alter intermittent cycling sprint performance. *J Sci Med Sport*, 2012, 15(2): 148-152.
4. Alzeer AH, Al-Arifi A, Warsy AS, Ansari Z, Zhang H, Vincent JL. Nitric oxide production is enhanced in patients with heat stroke. *Intensive Care Med*, 1999, 25: 58-62.
5. Armada-da-Silva PAS, Woods J, Jones DA. The effect of passive heating and face cooling on perceived exertion during exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 2004, 91:563-571.
6. Arngrímsson SA, Pettitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol*, 2004, 96: 1867-1874.
7. ASHRAE. Thermal comfort conditions. New York: ASHRAE standard 55.66, 1996.
8. Backx K, McNaughton L, Crickmore L, Palmer G, Carlisle A. Effects of differing heat and humidity on the performance and recovery from multiple high intensity, intermittent exercise bouts. *Int J Sports Med*, 2000, 21: 400-405.

9. Bain AR, Jay O. Does summer in a humid continental climate deficit an acclimatization of human thermoregulatory responses? *Eur J Appl Physiol*, 2011, 111: 1197-1205.
10. Bandelow S, Maughan R, Shirreffs S, Ozgunen K, Kurdak S, Ersoz G, Binnet M, Dvorak J. The effects of exercise, heat, cooling and rehydration strategies on cognitive function in football players. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(Suppl. 3): 148-160.
11. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med*, 2010, 40(6): 509-517.
12. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reability and validity. *Sports Med*, 1987, 4(6): 381-394.
13. Barwood MJ, Davey S, House JR, Tipton MJ. Post-exercise cooling techniques in hot, humid conditions. *Eur J Appl Physiol*, 2009, 107: 385-396.
14. Beatty PA, Gange JJ. Neuropsychological aspects of multiple sclerosis. *J Nerv Ment Dis*, 1977, 164(1): 42-50.
15. Beenakker EA, Oparina TI, Hartgring A, Teelken A, Arutjunyan AV, De Keyser J. Cooling garment treatment in MS: clinical improvement and decrease in leukocyte NO production. *Neurology*, 2001, 57: 892-894.
16. Béthoux F. Fatigue and multiple sclerosis. *Ann Readapt Med Phys*, 2006, 49: 265-271.
17. Bogerd N, Perret C, Bogerd CP, Rossi RM, Daanen HA. The effect of pre-cooling intensity on cooling efficiency and exercise performance. *J Sports Sci*, 2010, 28(7): 771-779.
18. Bolster DR, Trappe SW, Short KR, Scheffield-Moore M, Parcell AC, Schulze KM, Costill DL. Effects of precooling on thermoregulation during subsequent exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(2): 251-257.

19. Booth J, Marino F, Ward JJ. Improved running performance in hot humid conditions following whole body pre-cooling. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29: 943-949.
20. Borg GAV. Interindividual scaling and perception of muscular force. *Kungl Fysiolog Sällsk förh*, 1961, 31(12): 117-125.
21. Borg GAV. Perceived exertion: a note on “history” and methods. *Med Sci Sports*, 1973, 2: 90-93.
22. Borg GAV. Perceived exertion and pain scale. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998.
23. Borg GAV. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*, 1970, 2: 92-98.
24. Borg GAV, Noble BJ. Perceived exertion. *Exerc Sports Sci Reviews*, 1974, 2: 131-153.
25. Brade C, Dawson B, Wallman K, Polglaze T. Postexercise cooling rates in 2 cooling jackets. *J Athl Train*, 2010, 45: 164-169.
26. Brade C, Dawson B, Wallman K. Effects of different precooling techniques on repeat sprint ability in team sport athletes. *Eur J Sport Sci*, doi: 10.1080/17461391.2011.651491
27. Brazaitis M, Kamandulis S, Skurvydas A, Daniuseviciute L. The effect of two kinds of T-shirts on physiological and psychological thermal responses during exercise and recovery. *Appl Ergon*, 2010, 42: 46-51 a.
28. Brazaitis M, Skurvydas A. Heat acclimation does not reduce the impact of hyperthermia on central fatigue. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 109: 771-778 b.
29. Brenneis M, Harrer G, Selzer H. On the temperature sensitivity of multiple sclerosis patients. *Fortschr Neurol Psychiatr Grenzgeb*, 1979, 47: 320-325.
30. Brotherhood JR. Heat stress and strain in exercise and sport. *J Sci Med Sport*, 2008, 11: 6-19.

31. Buono MJ, Numan TR, Claros RM, Brodine SK, Kolkhorst FW. Is active sweating during heat acclimation required for improvements in peripheral sweat gland function? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2009, 297: 1082-1085.
32. Byrne C, Lee JK, Chew SA, Lim CL, Tan EY. Continuous thermoregulatory responses to mass-participation distance running in heat. *Med Sci Sports Exerc*, 2006, 38: 803-810.
33. Byrne C, Owen C, Cosnefroy W, Lee JKW. Self-paced exercise performance in the heat after pre-exercise cold-fluid ingestion. *J Athl train*, 2011, 46(6): 592-599.
34. Capello E, Gardella M, Leandri M, Abbruzzese G, Minatel C, Tartaglione A, Battaglia M, Mancardi GL. Lowering body temperature with a cooling suit as symptomatic treatment for thermosensitive multiple sclerosis patients. *Ital J Neurol Sci*, 1995, 16: 533-539.
35. Casa DJ, Armstrong LE, Kenny GP, O'Connor FG, Huggins RA. Exertional heat stroke: new concepts regarding cause and care. *Curr Sports Med Rep*, 2012, 11(3): 115-123.
36. Castle PC, MacKenzie RW, Maxwell N, Webborn AD, Watt PW. Heat acclimation improves intermittent sprinting in the heat but additional pre-cooling offers no further ergogenic effect. *J Sports Sci*, 2011, 29(11): 1125-1134.
37. Castle PC, Macdonald AL, Philp A, Webborn A, Watt PW, Maxwell NS. Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J Appl Physiol*, 2006, 100(4): 1377-1384.
38. Cattaneo D, De Nuzzo C, Fascia T, Macalli M, Pisoni I, Cardini R. Risks of falls in subjects with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83: 864-867.

39. Chan, KOW, Wong, SHS, and Chen, YJ. Effects of a hot environment on simulated cycling and running performance in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 2008, 48: 149-157.
40. Chaudhry V, Crawford TO, DeRossett SE. Thermal sensitivity in demyelinating neuropathy. *Muscle Nerve*, 1993, 16: 301-306.
41. Cheung SS, Robinson A. The influence of upper-body pre-cooling on repeated sprint performance in moderate ambient temperatures. *J Sports Sci*, 2004, 22: 605-612.
42. Cheung SS. Interconnections between thermal perception and exercise capacity in the heat. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(3): 53-59.
43. Cheung SS. Neuromuscular response to exercise heat stress. *Med Sport Sci*, 2008, 53: 39-60.
44. Ciesielska I, Mokwiński M, Orłowska-Majdak M. Influence of different kind of clothing material on selected cardiovascular, respiratory and psychomotor parameters during moderate physical exercise. *Int J Occup Med Environ Health*, 2009, 22: 215-226.
45. Cohen J. Statistical puissance analysis for behavioral sciences. Hillsdale: *Lawrence Erlbaum Associated*, 1988.
46. Cooper C, Evidente V G, Hentz JG, Adler CH, Caviness JN, Gwinn-Hardy K. The effects of temperature on hand function in patients with tremor. *J Hand Ther*, 2000, 13: 276-288.
47. Coquart JB, Dufour Y, Gros Lambert A, Matran R, Garcin M. Relationships between psychological factors, RPE and time limit estimated by teleoanticipation. *Sport Psychol*, 2012 a, 26(3): 359-374.

48. Coquart JB, Eston RG, Noakes TD, Tourny-Chollet C, L'hermette M, Lemaître F, Garcin M. Estimated time limit: a brief review of a perceptually based scale. *Sports Med*, 2012 b, 42(10): 845-855.
49. Costello JT, Culligan K, Selfe J, Donnelly AE. Muscle, skin and core temperature after -110 °C cold air and 8°C water treatment. *PLoS One*, 2012, 7(11):e48190.
50. Cotter JD, Sleivert GG, Roberts WS, Febbraio MA. Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 2001, 128: 667-677.
51. Crandall CG, Wilson TE, Marving J, Vogelsang TW, Kjaer A, Hesse B, Secher NH. Effects of passive heating on central blood volume and ventricular dimensions in humans. *J Physiol*, 2008, 586(1): 293-301.
52. Crandall CG. Heat stress and baroreflex regulation of blood pressure. *Med Sci Sports Exerc*, 2008, 40(12): 2063-2070.
53. Crawshaw LI, Nadel ER, Stolwijk JA, Stamford BA. Effect of local cooling on sweating rate and cold sensation. *Pflugers Arch*, 1975, 354(1): 19-27.
54. Crowley GC, Garg A, Lohn MS, Van Someren N, Wade AJ. Effects of cooling the legs on performance in a standard Wingate anaerobic puissance test. *Br J Sport Med*, 1991, 25: 2000-2003.
55. Daanen HA, Van Es EM, De Graal JL. Heat strain and gross efficiency during endurance exercise after lower, upper, or whole body pre-cooling in the heat. *Int J Sports Med*, 2006, 27: 379-388.
56. Dai X, Imamura R, Liu G, Zhou, F. Effect of moisture transport on microclimate under T-shirts. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 104: 337-340.

57. Davis SL, Frohman TC, Crandall CG, Brown MJ, Mills DA, Kramer PD, Stüve O, Frohman EM. Modeling Uhthoff's phenomenon in MS patients with internuclear ophthalmoparesis. *Neurology*, 2008, 70: 1098-1106.
58. De Pauw K, De Geus B, Roelands B, Lawens F, Verschueren J, Heyman E, Meeusen RR. Effect of five different recovery methods on repeated cycle performance. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43: 890-897.
59. Donzé C, De Sèze J. Spasticity and everyday life in multiple sclerosis. *Rev Neurol (Paris)*, 2012, 168(Suppl. 3): 51-56.
60. Dotan R, Bar-Or O. Climatic heat stress and performance in the Wingate anaerobic test. *Eur J Appl Physiol*, 1980, 44: 237-243.
61. Driskell JA, Wolinsky I. Energy yielding macronutrients and energy metabolism in sports nutrition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000, p15.
62. Dubois D, Dubois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Nutrition*, 1989, 5: 303-311.
63. Duffield R, Coutts AJ, Quinn J. Core temperature responses and match running performance during intermittent-sprint exercise competition in warm conditions. *J Strength Cond Res*, 2009, 23: 1238-1244.
64. Duffield R, Green R, Castle P, Maxwell N. Precooling can prevent the reduction of self-paced exercise intensity in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(3): 577-584.
65. Duffield R, Marino FE. Effects of pre-cooling procedures on intermittent-sprint exercise performance in warm up conditions. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 100: 727-735.

66. Dugué B, Smolander J, Westerlund T, Osaka J, Nieminen R, Moilanen E, Mikkelsen M. Acute and long-term effects of winter swimming and whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women. *Scand J Clin Lab Invest*, 2005, 65(5): 395-402.
67. Edlich RF, Buschbacher RM, Cox MJ, Long WB, Winters KL, Becker DG. Strategies to reduce hyperthermia in ambulatory multiple sclerosis patients. *J Long Term Eff Med Implants*, 2004, 14: 467-479.
68. Edwards RHT, Melcher A, Hesser CM, Wigertz O, Ekelund LG. Physiological correlates of perceived exertion in continuous and intermittent exercise with the same average power output. *Eur J Clin Invest*, 1972, 2: 108-114.
69. Ely BR, Ely MR, Cheuvront SN, Kenefick RW, De Groot DW, Montain SJ. Evidence against a 40 °C core temperature threshold for fatigue in humans. *J Appl Physiol*, 2009, 107: 1519-1525.
70. Feys P, Helsen W, Liu X, Mooren D, Albrecht H, Nuttin B, Ketelaer P. Effects of peripheral cooling on intention tremor in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2005, 76: 373-9.
71. Fisher JS, Rudick RA, Cutter GR, Reingold SC. The multiple sclerosis functional composite measure (MSFC): an integrated approach to MS clinical outcome assessment. National MS society clinical outcomes assessment task force. *Mult Scler*, 1999, 5: 244-250.
72. Flensner G, Lindencrona C. The cooling-suit: case studies of its influence on fatigue among eight individuals with multiple sclerosis. *J Adv Nurs*, 2002, 37: 541-50.
73. Freal JE, Kraft GH, Coryell JK. Symptomatic fatigue in multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*, 1984, 65: 135-138.

74. Galvin RJ, Regan D, Heron JR. A possible means of monitoring the progress of demyelination in multiple sclerosis: Effect of body temperature on visual perception of double light flashes. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1976, 39: 861-865.
75. Gaoua N, Racinais S, Grantham J, El Massioui F. Alterations in cognitive performance during hyperthermia are task dependent. *Int J Hyperthermia*, 2011, 27(1): 1-9.
76. Garcin M, Vautier JF, Vandewalle H, Monod H. Ratings of perceived exertion (RPE) as an index of aerobic endurance during local and general exercises. *Ergonomics*, 1998, 41(8): 1105-1114 a.
77. Garcin M, Vautier JF, Vandewalle H, Wolff M, Monod H. Ratings of perceived exertion (RPE) during cycling exercises at constant power output. *Ergonomics*, 1998, 41(10):1500-1509 b.
78. Gavin TP, Babington JP, Harms CA, Ardelt ME, Tanner DA, Stager JM. Clothing fabric does not affect thermoregulation during exercise in moderate heat. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33: 2124-2130.
79. Geirsson AJ, Jónsson GS, Asgeirsdóttir LP. Functional study of the dermal microcirculation in systemic sclerosis. *Scand J Rheumatol*, 1994, 23: 73-76.
80. Geisler MW, Gaudino EA, Squires NK, Coyle PK, Doscher C, Krupp LB. Cooling and multiple sclerosis: Cognitive and sensory effects. *Neurorehabil Neural Repair*, 1996, 10(1): 17-22.
81. Gillis DJ, House JR, Tipton MJ. The influence of menthol on thermoregulation and perception during exercise in warm, humid conditions. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110(3): 609-618.
82. Gisolfi CV, Robinson S. Relationship between physical training, acclimatization, and heat tolerance. *J Appl Physiol*, 1969, 25: 530-534.

83. Gisolfi CV, Wenger CB. Temperature regulation during exercise: old concepts, new idea. *Exerc Sport Sci Rev*, 1984, 12: 339-372.
84. Gleeson M. Temperature regulation during exercise. *Int J Sports Med*, 1998, 19: S96-S99
85. Gonzalez RR. Biophysical and physiological integration of proper clothing for exercise. *Exerc Sport Sci Rev*, 1987, 15: 261-295.
86. Gonzalez-Alonso J, Crandall CG, Johnson JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *J Physiol*, 2008, 586(1): 45-53.
87. Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 1999, 86: 1032-1039.
88. Goulet ED, Rousseau SF, Lamboley CR, Plante GE, Dionne IJ. Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2h of cycling in a temperate climate. *J Physiol Anthropol*, 2008, 27: 263-271.
89. Grahn DA, Murray JV, Heller HC. Cooling via one hand improves physical performance in heat-sensitive individuals with multiple sclerosis: a preliminary study. *BMC Neurol*, 2008, 8: 14.
90. Grappe F. Cyclisme et Optimisation de la Performance. Paris: *DeBoeck*, 2009.
91. Green JM, Pritchett RC, Crews TR, Tucker DC, McLester JR, Wickwire PJ. RPE drift cycling in 18 °C vs. 30 °C wet bulb globe temperature. *J Sports Med Fitness*, 2007, 47(1): 18-24 a.
92. Green JM, Yang Z, Laurent CM, Davis JK, Kerr K, Pritchett RC, Bishop PA. Session RPE following interval and constant-resistance cycling in hot and cool environments. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39(11): 2051-2057 b.

93. Guimarães J, Sa MJ. Cognitive dysfunction in multiple sclerosis. *Front Neurol*, 2012, 3: 74.
94. Guthrie TC, Nelson DA. Influence of temperature changes on multiple sclerosis: critical review of mechanisms and research potential. *J Neurol Sci*, 1995, 129: 1-8.
95. Ha M, Tokura H, Yamashita Y. Effects of two kinds of clothing made from hydrophobic and hydrophilic fabrics on local sweating rates at an ambient temperature of 37 degrees C. *Ergonomics*, 1995, 38: 1445-1455.
96. Ha M, Tokura H, Yanai Y, Moriyama T, Tsuchiya N. The effects of fabric air permeability and moisture absorption on clothing microclimate and participative sensation in sedentary women at cyclic changes of ambient temperatures from 27 degrees C to 33 degrees C. *J Hum Ergol*, 1999, 28: 1-13.
97. Hahn M, Klyszcz T, Bohnenberger G, Jünger M. A new technique for controlling the finger skin temperature in microcirculatory research demonstrated in a local cold stress test in healthy controls and patients with Raynaud's phenomenon. *Int J Microcirc Clin Exp*, 1996, 16: 16-22.
98. Hardy CJ, Rejeski WJ. Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. *J Sport Exerc Psychol*, 1989, 11: 304-317.
99. Hargreaves M, Febbraio M. Limits to exercise performance in the heat. *Int J Sports Med*, 1998, 19: 115-116.
100. Hargreaves M. Physiological limits to exercise performance in the heat. *J Sci Med Sport*, 2008, 11: 66-71.

101. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard JR, Brisswalter J. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One*, 2011, 6(12): e27749.
102. Heled Y, Epstein Y, Moran DS. Heat strain attenuation while wearing NBC clothing: Dry-Ice vest compared to water spray. *Aviat Space Environ Med*, 2004, 75: 391-395.
103. Henriksson J, Knuttgen HG, Bonde-Petersen F. Perceived exertion during exercise with concentric and eccentric muscle contractions. *Ergonomics*, 1972, 15(5): 537-544.
104. Hessemer V, Langusch D, Brück K, Bödeker RH, Breidenbach T. Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *J Appl Physiol*, 1984, 57(6): 1731-1737.
105. Hettinga FJ, De Koning JJ, De Vrijer A, Wüst RC, Daanen HA, Foster C. The effect of ambient temperature on gross-efficiency in cycling. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 101(4): 465-471.
106. Hidasi E, Diószeghy P, Csépany T, Mechler F, Bereczki D. Peripheral nerves are progressively involved in multiple sclerosis - a hypothesis from a pilot study of temperature sensitized electroneurographic screening. *Med Hypotheses*, 2009, 72: 562-566.
107. Hill KD, Schwarz JA, Kalogeropoulos AJ, Gibson SJ. Fear of falling revisited. *Arch Phys Med Rehabil*, 1996, 77(10): 1025-1029.
108. Hirata K, Nagasaka T, Nunomura T, Hirai A, Hirashita M. Effects of facial fanning on local exercise performance and thermoregulatory responses during hyperthermia. *Eur J Appl Physiol*, 1987, 56: 43-48.

109. Houdas Y, Ring EFJ. Human body temperature: its measurement and regulation. New York: *Plenum Press*; 1982.
110. Howatson G, Van Someren K. Ice massage: Effects on exercise-induced muscle damage. *J Sport Med Phys Fitness*, 2003, 43: 500-505.
111. Imai D, Okazaki K, Matsumura S, Suzuki T, Miyazawa T, Suzuki A, Takeda R, Hamamoto T, Zako T, Kawabata T, Miyagawa T. Lower skin temperature decreases maximal cycling performance. *Osaka City Med J*, 2011, 57: 67-77.
112. ISO 7730. Ergonomics of thermal environment – Analytical determination and interception of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Third edition, Geneva: ISO, 2005.
113. Jentjens RL, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE. Heat stress increases muscle glycogen use but reduces the oxidation of ingested carbohydrates during exercise. *J Appl Physiol*, 2002, 92(4): 1562-1572.
114. Johnson JM. Exercise in a hot environment: The skin circulation. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20: 29-39.
115. Kargafard M, Etemadifar M, Baker P, Mehrabi M, Hayatbakhsh R. Effect of aquatic exercise training on fatigue and health-related quality of life in patients with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, Epub ahead of print, May 16.
116. Kay D, Taaffe DR, Marino FE. Whole- body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *J Sports Sci*, 1999, 17: 937-944.
117. Kenney WL. Heat flux and storage in hot environments. *Int J Sports Med*, 1998, 19: S92-S95.
118. Kenney WL. Human cardiovascular responses to passive heat stress. *J Physiol*, 2008, 586(1): 3.

119. King DS, Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, Fielding RA. Muscle metabolism during exercise in the heat in unacclimatized and acclimatized humans. *J Appl Physiol*, 1985, 59: 1350-1354.
120. Kinnman J, Andersson T, Andersson G. Effect of cooling suit treatment in patients with multiple sclerosis evaluated by evoked potentials. *Scand J Rehabil Med*, 2000, 32: 16-19 a.
121. Kinnman J, Andersson U, Wetterquist L, Kinnman Y, Andersson U. Cooling suit for multiple sclerosis: functional improvement in daily living? *Scand J Rehabil Med*, 2000, 32: 20-24 b.
122. Kjolhede T, Vissing K, Dalgas U. Multiple Sclerosis and progressive resistance training: a systematic review. *Multi Scler*, 2012, 18(9): 1215-1228.
123. Kozlowski S, Brezezinska Z, Kruk B, Kaciuba-Uscilko H, Greenleaf JE, Nazar K. Exercise hyperthermia as a factor limiting physical performance: temperature effect on muscle metabolism. *J Appl Physiol*, 1985, 59: 766-773.
124. Kriel Y, Hampson DB, Lambert EV, Tucker R, Albertus Y, Claassen A, St Clair Gibson A. Visual stimulus deprivation and manipulation of auditory timing signals on pacing strategy. *Percept Mot Skills*, 2007, 105(3 Pt 2): 1227-1241.
125. Ku YT, Montgomery LD, Lee HC, Luna B, Webbon BW. Physiologic and functional responses of MS patients to body cooling. *Am J Phys Med Rehabil*, 2000, 79: 427-434.
126. Ku YT, Montgomery LD, Webbon BW. Hemodynamic and thermal responses to head and neck cooling in men and women. *Am J Phys Med Rehabil*, 1996, 75: 443-450.
127. Ku YT, Montgomery LD, Wenzel KC, Webbon BW, Burks JS. Physiologic and thermal responses of male and female patients with multiple sclerosis to head and neck cooling. *Am J Phys Med Rehabil*, 1999, 78: 447-456.

128. Kuennen MR, Gillum TL, Dokladny K, Bedrick EJ, Schneider SM, Moseley PL. Thermotolerance and heat acclimation may share a common mechanism in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2011, 301(12): 524-533.
129. Kurdak SS, Shirreffs SM, Maughan RJ, Ozgunen KT, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, Ersoz G, Binnett MS, Dvorak J. Hydration and sweating responses to hot-weather football competition. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(3): 133-139.
130. Kurtzke JF. Rating neurological impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS). *Neurology*, 1983, 33: 1444-1452.
131. Lacerda ACR, Gripp F, Rodrigues LOC, Silami-Garcia E, Coimbra CC, Prado LS. Acute exposure increases high-intensity performance during sprint cycle exercise. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 99: 87-93.
132. Lau CS, Khan F, Brown R, McCallum P, Belch JJ. Digital blood flow response to body warming, cooling, and rewarming in patients with Raynaud's phenomenon. *Angiology*, 1995, 46: 1-10.
133. Lee D, Haymes E. Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body pre-cooling. *J Appl Physiol*, 1995, 79: 1971-1976.
134. Levels K, deKoning JJ, Foster C, Daanen HAM. The effect of skin temperature on performance during a 7.5-km cycling time trial. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(9): 3387-3395.
135. Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, Minson CT. Heat Acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol*, 2010, 109: 1140-1147.
136. Luomala MJ, Oksa J, Salmi JA, Linnamo V, Holmer I, Smolander J, Dugué B. Adding a cooling vest during cycling improves performance in warm and humid conditions. *J Therm Biol*, 2012, 37: 47-55.

137. MacAllister WS, Krupp LB. Multiple sclerosis-related fatigue. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2005, 16: 483-502.
138. Marino FE. Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *Br J Sports Med*, 2002, 63(2): 89-94.
139. Marsh D, Sleivert G. Effect of pre-cooling on high intensity cycling performance. *Br J Sport Med*, 1999, 33: 393-397.
140. Martin DT, Andersen MB. Heart rate-perceived exertion relationship during training and taper. *J Sports Med Phys fitness*, 2000, 40(3): 201-208.
141. Masterson J, Richardson FA. Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *Environnement Canada*, Downsview, Ontario, 1979, p.45.
142. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther*, 1985, 39(6): 386-391.
143. Maughan RJ. Distance running in hot environments: a thermal challenge to the elite runner. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(3): 95-102.
144. Maughan RJ, Otani H, Watson P. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in warm environment. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(6): 2313-2321.
145. Maw GJ, Boutcher SH, Taylor NA. Ratings of perceived exertion and affect in hot and cool environments. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1993, 67: 174-179.
146. Meyer-Heim A, Rothmaier M, Weder M, Kool J, Schenk P, Kesselring J. Advanced lightweight cooling-garment technology: functional improvements in thermosensitive patients with multiple sclerosis. *Mult Scler*, 2007, 13: 232-237.

147. Miller E, Mrowicka M, Malinowska K, Zolynski K, Kedziora J. Effects of the whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of some antioxidative enzymes in blood of patients with multiple sclerosis-preliminary study. *J Med Invest*, 2010, 57: 168-173.
148. Mitchell JB, Mac Farlin BK, Dugas JP. The effect of pre-cooling on high intensity running performance in the heat. *Int J Sports Med*, 2003, 24: 118-124.
149. Morante SM, Brotherhood JR. Air temperature and physiological and subjective responses during competitive singles tennis. *Br J Sports Med*, 2007, 41(11): 773-778.
150. Motl RW, Pilutti LA. The benefits of exercise training in multiple sclerosis. *Nat Rev Neurol*, 2012, doi: 10.1038/nrneurol.2012.136.
151. Mourot L, Bouhaddi M, Gandelin E, Capelle S, Dumoulin G, Wolf JP, Rouillon JD, Regnard J. Cardiovascular autonomic control during short-term thermoneutral and cool head-out immersion. *Aviat Space Environ Med*, 2008, 79: 14-20.
152. Mündel T, Bunn SJ, Hooper PL, Jones DA. The effects of face cooling during hyperthermic exercise in man: evidence for an integrated thermal, neuroendocrine and behavioural response. *Exp Physiol*, 2007, 92: 187-195.
153. Mündel T, Jones DA. The effects of swilling an L (-)-Menthol solution during exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 109(1): 59-65.
154. Mündel T. Exercise heat stress and metabolism. *Med Sport Sci*, 2008, 53: 121-129.
155. Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in hot, dry environment. *J Physiol*, 1993, 460: 467-485.
156. Nielsen B, Nybo L. Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Med*, 2003, 33: 1-11.

157. Nielsen B. Heat acclimation – Mechanisms of adaptation to exercise in the heat. *Int J Sports Med*, 1998, 19: S154- S156.
158. Nielsen B. Thermoregulation in rest and exercise. *Acta Physiol Scand*, 1969, 323:1-74.
159. Nielsen M. Die regulation ser Körpertemperature bei Musklearbeit. *Skan Arch Physiol*, 1938, 79:193-230.
160. Nilsagard YE, Denison E, Gunnarsson L. Evaluation of a single session with cooling garment for persons with multiple sclerosis-a randomized trial. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2006, 1: 225-233.
161. Nilsagard YE, Forsberg AS, von Koch L. Balance exercise for persons with multiple sclerosis using Wii games: a randomised, controlled multi-centre study. *Mult Scler*, 2012, Epub ahead of print, Jun 6.
162. Noakes TD. 1996 J.B. Wolffe Memorial Lecture. Challenging beliefs: ex Africa simper aliquid novi. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29(5): 571-590.
163. Noakes TD. Fluid and electrolyte disturbances in heat illness. *Int J Sports Med*, 1998, 19: S146-S149.
164. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol*, 2001, 91: 1055-1060.
165. Nybo L. Cycling in the heat: Performance perspectives and cerebral challenges. *Scan J Med Sci Sports*, 2010, 20(3): 71-79.
166. Olschewski H, Bruck K. Thermoregulatory, cardiovascular and muscular factors related to exercise after pre-cooling. *J Appl Physiol*, 1988, 64: 803-811.
167. Ozgünen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, Ersöz G, Shirreffs SM, Binnet MS, Dvorak J. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20(3): 140-147.

168. Parkinson JF, Mitrovic B, Merrill JE. The role of nitric oxide in multiple sclerosis. *J Mol Med*, 1997, 75: 174-186.
169. Pélissier J, Bénaim C, Petiot S. Locomotor reeducation and multiple sclerosis. A critical analysis of the literature. *Rev Neurol*, 2001, 157: 1030-40.
170. Perrey S, Grappe F, Girard A, Bringard A, Gros Lambert A, Bertucci W, Rouillon JD. Physiological and metabolic responses of triathletes to a simulated 30-min time-trial in cycling at self-selected intensity. *Int J Sports Med*, 2003, 24: 138-143.
171. Petrilli S, Durufle A, Nicolas B, Robineau S, Kerdoncuff V, Le Tallec H, Lassalle A, Gallien P. Influence of temperature changes on clinical symptoms in multiple sclerosis: an epidemiologic study. *Ann Readapt Med Phys*, 2004, 47: 204-208.
172. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 1991, 39(2): 142-148.
173. Pöhlmann W, Feneberg W. Current management of pain associated with multiple sclerosis. *CNS Drugs*, 2008, 22: 291-324.
174. Pretorius T, Gagnon DD, Giesbrecht GG. Core cooling and thermal responses during whole-head, facial, and dorsal immersion in 17 °C water. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2010, 35: 627-634.
175. Price MJ, Boyd C, Goosey-Tolfrey VL. The physiological effects of pre-event and mid-event cooling during intermittent running in the heat in elite female soccer players. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2009, 34(5): 942-949.
176. Pringle CE, McEwan LM, Ebers GC. Laryngeal Uhthoff's phenomenon: a case report. *Mult Scler*, 1995, 1: 163-164.
177. Proulx CI, Ducharme MB, Kenny GP. Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *J Appl Physiol*, 2003, 94: 1317-1323.

178. Quod MJ, Martin DT, Laursen PB. Cooling athletes before competition in the heat. *Sports Med*, 2006, 36(8): 671-682.
179. Ramanathan NLA. A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J Appl Physiol*, 1964, 19(3): 531-533.
180. Ranalli GF, DeMartini JK, Casa DJ, McDermott BP, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of body cooling on subsequent aerobic and anaerobic exercise performance: a systematic review. *J Strength Cond Res*, 2010, 24(12): 3788-3496.
181. Roberts BC, Waller TM, Caime MP. Thermoregulatory response to base layer garments during treadmill exercise. *Int J Sports Sci Eng*, 2007, 1: 29-38.
182. Robertson RJ, Noble BJ. Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exerc Sport Sci Rev*, 1997, 25:407-452.
183. Robinson LR, Kraft GH, Fitts SS, Schneider V. Body cooling may not improve somatosensory pathway function in multiple sclerosis. *Am J Phys Med Rehabil*, 1997, 76: 191-196.
184. Rohe ST. Exertional heat illness in a Marine training on the endurance course. *JAAPA*, 2012, 25(6): 34, 36-38.
185. Romani A, Bergamaschi R, Versino M, Zilioli A, Callieco R, Cosi V. Circadian and hypothermia-induced effects on visual and auditory evoked potentials in multiple sclerosis. *Clin Neurophysiol*, 2000, 111: 1602-1606.
186. Ross ML, Garvican LA, Jeacocke NA, Laursen PB, Abbiss CR, Martin DT, Burke LM. Novel pre-cooling strategy enhances time trial cycling in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(1): 123-133.
187. Rowell LB, Brengelmann GL, Murray JA. Cardiovascular responses to sustained high skin temperature in resting man. *J Applied Physiol*, 1969, 27(5): 673-680.

188. Ruet A, Deloire M, Hamel D, Ouallet JC, Petry K, Brochet B. Cognitive impairment, health-related quality of life and vocational status at early stages of multiple sclerosis : a 7-year longitudinal study. *J Neurol*, 2012 oct. 19 Epub ahead of print.
189. Scheinberg L, Holland N, Larocca N, Laitin P, Bennett A, Hall H. Multiple sclerosis; earning a living. *N Y State J Med*, 1980, 80: 1395-1400.
190. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*, DOI: 10.1007/s00421-012-2421x.
191. Schlader ZJ, Stannard SR, Mündel T. Exercise and heat stress: performance, fatigue and exhaustion – a hot topic. *Br J Sports Med*, 2011, 45(1): 3-5.
192. Schniepp J, Campbell TS, Powell KL, Pincivero DM. The effects of cold-water immersion on power output and heart rate in elite cyclists. *J Strength Cond Res*, 2002, 16(4): 561-566.
193. Schwid SR, Petrie MD, Murray R, Leitch J, Bowen J, Alquist A, Pelligrino R, Roberts A, Harper-Bennie J, Milan MD, Guisado R, Luna B, Montgomery L, Lamparter R, Ku Y, Lee H, Goldwater D, Cutter G, Webbon B. A randomized controlled study of the acute and chronic effects of cooling therapy for MS. *Neurology*, 2003, 60: 1955-1960.
194. Shirreffs SM, Aragon-Vargas LF, Chamorro M, Maughan RJ, Serratosa L, Zachwieja JJ. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int J Sports Med*, 2005, 26: 90-95.
195. Siegel R, Maté J, Brearley MB, Watson B, Nosaka K, Laursen PB. Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(4): 717-725.

196. Simmons SE, Mündel T, Jones DA. The effects of passive heating and head-cooling on perception of exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 104(2):281-288 a.
197. Simmons SE, Saxby BK, McGlone FP, Jones DA. The effect of passive heating and head cooling on perception, cardiovascular function and cognitive performance in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 104(2): 271-280 b.
198. Sleivert GC, Cotter JD, Roberts WS, Febbraio MA. The influence of whole-body vs. torso pre-cooling on physiological strain and performance of high-intensity exercise in the heat. *Comp Biochem Phys*, 2001, 128: 657-666.
199. Smets EM, Garssen B, Bonke B, De Haes JC. The multidimensional fatigue inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *J Psychosom Res*, 1995, 39(3): 315-325.
200. Smolander J, Leppaluoto J, Westerlund T, Oksa J, Dugué B, Mikkelsen M, Ruukonen A. Effects of repeated whole-body cold exposures on serum concentrations of growth hormone, thyrotropin, prolactin and thyroid hormones in healthy women. *Cryobiology*, 2009, 58(3): 275-278.
201. Smolander J, Westerlund T, Uusitalo A, Dugué B, Oksa J, Mikkelsen M. Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110°C) during whole-body cryotherapy. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2006, 26(4): 232-234.
202. St Clair Gibson A, Noakes T. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med*, 2004, 38: 797-806.
203. Stanley J, Leveritt M, Peake JM. Thermoregulatory responses to ice-slush beverage ingestion and exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110(6): 1163-1173.

204. Steed J, Gaesser GA, Weltman A. Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Med Sci Sports Exerc*, 1994, 26(6): 797-803.
205. Sunderland C, Morris JG, Nevill ME. A heat acclimation protocol for team sports. *Br J Sports Med*, 2008, 42: 327-333.
206. Symington GR, Mackay IR, Currie TT. Improvement in multiple sclerosis during prolonged induced hypothermia. *Neurology*, 1977, 27: 302-303.
207. Taggart P, Parkinson P, Carruthers M. Cardiac responses to thermal, physical, and emotional stress. *Br J Med*, 1972, 3: 71-76.
208. Tataru N, Vidal C, Decavel P, Berger E, Rumbach L. Limited impact of the summer heat wave in France (2003) on hospital admissions and relapses for multiple sclerosis. *Neuroepidemiology*, 2006, 27: 28-32.
209. Theys PA, Peeters E, Robberecht W. Evolution of motor and sensory deficits in amyotrophic lateral sclerosis estimated by neurophysiological techniques. *J Neurol*, 1999, 246: 438-442.
210. Tyler CJ, Sunderland C. Cooling the neck region during exercise in the heat. *J Athl Train*, 2011, 46: 61-68 a.
211. Tyler CJ, Sunderland C. Neck cooling and running performance in the heat: single versus repeated application. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(12): 2388-2395 b.
212. Tyler CJ, Wild P, Sunderland C. Practical neck cooling and time trial running performance in a hot environment. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 110: 1063-1074.
213. Uckert S, Joch W. Effects of warm up and pre-cooling on endurance performance in the heat. *Br J Sports Med*, 2007, 41: 380-384.

214. Ulmer HV. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia*, 1996, 52: 416-420.
215. Vaile J, O'Hagan C, Stefanovic B, Walker M, Gill N, Askew CD. Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br J Sports Med*, 2011, 45(10): 825-829.
216. Van Diemen HA, Van Dongen MM, Dammers JW, Polman CH. Increased visual impairment after exercise (Uhthoff's phenomenon) in multiple sclerosis: therapeutic possibilities. *Eur Neurol*, 1992, 32: 231-234.
217. Vernieuw CR, Stephenson LA, Kolka MA. Thermal comfort and sensation in men wearing a cooling system controlled by skin temperature. *Hum Factors*, 2007, 49(6): 1033-1044.
218. Webb P. Heat storage and body temperature during cooling and rewarming. *Eur J Appl Physiol*, 1993, 66: 18-24.
219. Wendt D, Van Loon LJC, Van Marken Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat. *Sports Med*, 2007, 37: 669-682.
220. White AT, Davis SL, Wilson TE. Metabolic, thermoregulatory, and perceptual responses during exercise after lower vs. whole body precooling. *J Appl Physiol*, 2003, 94: 1039-1044.
221. Whyte GP, George K, shave R, Middleton N, Nevill AM. Training induced changes in maximum heart rate. *Int J Sports Med*, 2009, 29(2): 129-133.
222. Willmore JH, Costill DL. Physiologie du sport et de l'exercice. Paris: *DeBoeck*, 2006.
223. Wilson TE, Johnson SC, Petajan JH, Davis SL, Gappmaier E, Luetkemeier MJ, White AT. Thermal regulatory responses to submaximal cycling following lower-body cooling in humans. *Eur J Appl Physiol*, 2002, 88: 67-75.

224. Yeargin SW, Casa DJ, McClung JM, Knight JC, Healey JC, Goss PJ, Harvard WR, Hipp GR. Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J Strength Cond Res*, 2006, 20: 383-389.
225. Yu HJ, Christodoulou C, Bhise V, Greenblatt D, Patel Y, Serafin D, Maletic-Savatic M, Krupp LB, Wagshul ME. Multiple white matter tract abnormalities underlie cognitive impairment in RRMS. *Neuroimage*, 2012, 59(4): 3713-3722.
226. Zlochiver S. Persistent reflection underlies ectopic activity in multiple sclerosis: a numerical study. *Biol Cybern*, 2010, 10(3): 181-196.
227. Zwibel HL, Smrtka J. Improving quality of life in multiple sclerosis: an unmet need. *Am J Manag Care*, 2011, 11(5): 139-145.

ANNEXES

PUBLICATION 1

EFFECTS OF POLYESTER JERSEYS ON PSYCHO-PHYSIOLOGICAL RESPONSES DURING EXERCISE IN A HOT AND MOIST ENVIRONMENT

BENOÎT R. GONZALES,¹ VINCENT HAGIN,¹ RONAN GUILLOT,¹ VINCENT PLACET,²
AND ALAIN GROSLAMBERT¹

¹Laboratory C3S, "Culture, Sport Health and Sports, University of Franche-Comté, Besançon, France; and ²Laboratory of Applied Mechanics, R.Chaléat Fémto-ST, University of Franche-Comté, Besançon, France

ABSTRACT

Gonzales, BR, Hagin, V, Guillot, R, Placet, V, and Gros Lambert, A. Effects of polyester jerseys on psycho-physiological responses during exercise in a hot and moist environment. *J Strength Cond Res* 25(12): 3432–3438, 2011—With the general acceptance that extreme environments have a detrimental effect on thermoregulation and human performance, the aim of this study was to investigate the influence of 3 polyester jerseys with knits of different sizes on physiological and perceptual responses in trained cyclists during exercise performed in a hot and moist environment. Ten trained male cyclists (mean \pm SD, age: 29.1 ± 8 years, height: 177.12 ± 5 cm, body mass: 70.10 ± 6 kg), performed 3 tests of 15 minutes at 150 W on a calibrated home trainer by randomly wearing jerseys with small knits (SK), medium knits, and large knits (LK). While exercising, the jersey and torso skin temperatures, perceived exertion and hotness, and heart rate (HR) were continuously recorded. The major results of this study showed that perceived hotness with LK was significantly lower ($p < 0.05$) than with SK at minutes 10 (effect size [ES] = 1.18) and 12 (ES = 1.04) of exercise. The torso skin temperature with LK was significantly lower ($p < 0.05$) than with SK at minute 10 (ES = 0.84) and at minute 14 (ES = 0.81) of exercise, and the LK jersey temperature was significantly lower ($p < 0.05$) than with SK jerseys at minutes 12 (ES = 0.83) and 14 (ES = 0.90) of exercise. However, no significant difference was found in perceived exertion or HR. These results suggest that the use of polyester jerseys with larger knits could limit the drift of skin temperature and therefore increase the thermal comfort of cyclists during exercise performed in a hot and moist environment. Therefore, coaches are encouraged to take

particular care that their athletes wear exercise-appropriate clothing in hot temperatures.

KEY WORDS thermal comfort, perceived exertion, perceived hotness, cooling

INTRODUCTION

The Beijing Olympic Games have pointed out many issues because of the local climate conditions and induced a lot of questions about human performance in hot and moist environments. With the general acceptance that hot and moist environments have a detrimental effect on human performance (4,8,15,16,18), some authors have tested different textiles in many different conditions (7).

Ha et al. (13) assessed the different responses to wearing 2 kinds of clothing ensembles (100% cotton vs. 100% polyester) consisting of a short-sleeved T-shirt and a long-sleeved working dress with full-length trousers. Their results suggest that the polyester ensemble induced a higher core temperature and heart rate (HR) response. However, as evaporative sweating is the principal means of heat loss in hot environments (10), Ha et al. (14) investigated the thermophysiological responses to polyester or cotton clothing ensembles with different levels of moisture absorption and air permeability. They concluded that polyester ensembles induced higher chest microclimate humidity. At the opposite, Brazaitis et al. (3) also compared 2 T-shirts (100% cotton vs. 100% polyester) and reported a greater sweating efficiency and better skin temperature decrease with polyester T-shirts. These results are in line with those of Roberts et al. (20), who also observed that synthetic garments with polyester are a superior alternative to 100% cotton T-shirts with respect to desired thermoregulatory response and wearer comfort. Ciesielska et al. (5) did not confirm this finding, reporting that it is not possible to clearly define which of the clothing materials is better because each of them exerts a different effect on the human organism. The authors concluded that the usefulness of a given type of clothing material seems to depend on the human physiological state and the related thermoregulatory processes.

Address correspondence to Benoît R. Gonzales, gonzalesbenoit@hotmail.com

25(12)/3432–3438

Journal of Strength and Conditioning Research

© 2011 National Strength and Conditioning Association

3432 *Journal of Strength and Conditioning Research*

Copyright © National Strength and Conditioning Association Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

TABLE 1. The PMV scale (ASHRAE 55, ISO 7730:1996-E [1]).

-3	-2	-1	0	1	2	3
Very cold	Cold	Cool	Neutral	Warm	Hot	Very hot

However, these contradictory results might be explained by the size of the knits of the garment. The size of the knits corresponds to the dimensions of the mesh of clothing. Indeed, large knits may influence convection by airflow that could increase the removal of heat from the body to the atmosphere. To the best of our knowledge, the impact of this variable on the thermophysiological and perceptual responses has never been investigated in a hot environment. Our hypothesis is that a polyester jersey made with larger knits that therefore has a lower textile density could induce less heat stress by reducing the drift of skin temperature and by decreasing HR and perceived exertion.

Therefore, the aim of this study was to investigate the influence of polyester jerseys with knits of different sizes on physiological and perceptual responses in trained cyclists during exercise performed in a hot and moist environment.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

To investigate the effects of polyester jerseys with knits of different sizes on psychophysiological responses during exercise in a hot and moist environment, the participants were asked to perform a set of 3 blinded 15-minute cycling trials at a constant power of 150 W by randomly wearing 3 different jerseys. The room temperature and the relative humidity were accurately controlled. The HR, thermal

sensations, perceived exertion, skin, and jersey temperatures were monitored during the study. The core temperature was not measured because it has been reported that thermal comfort could be affected without core temperature changes (21,22). The room temperature, the relative humidity, the exercise intensity, and the size of the knits of the jerseys were the independent variables. These variables were accurately measured to control the level of stress generated by the environmental conditions and the exercise intensity. The HR, perceived exertion, perceived hotness, water intake, body mass loss and skin and jersey temperature were the dependent variables that determined the physiological and perceptual responses caused by the environmental conditions and the exercise.

Subjects

Ten trained male cyclists (mean \pm SD, age: 29.1 ± 8 years, height: 177.12 ± 5 cm, body mass: 70.10 ± 6 kg, body mass index: 22.32 ± 1.42) of a regional competition level volunteered to participate in this study.

All participants were involved in a regular physical training. The participants gave their written consent to participate in the investigation. The experiments comply with the Helsinki declaration (1983), and the protocol was approved by the local ethics committee. Participants were asked to maintain their normal diet and training for the duration of the study. Each participant was familiarized with the testing protocol and equipment but was not informed about the expected results of this study. All tests occurred in the same climate room at the same times of the day during the morning. Similarly, the participants were asked to avoid strenuous physical activity during the 2 days before the test and not to exercise on the test day.

Procedures

At the arrival of each participant, their own bicycle was equipped with a power output measuring device included in

TABLE 2. Mean and SD of the power output (W), ES, and ICC compared to small knits condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	ES	ICC	Mean \pm SD	ES	ICC
2	141.82 \pm 11.50	140.34 \pm 9.47	0.14	0.73	141.88 \pm 8.43	-0.01	0.58
4	148.46 \pm 7.17	146.62 \pm 8.70	0.23	0.73	147.47 \pm 6.72	0.14	0.03
6	153.52 \pm 8.89	151.71 \pm 6.78	0.23	0.75	153.93 \pm 5.87	-0.05	0.45
8	153.11 \pm 7.44	152.00 \pm 5.76	0.17	0.44	152.08 \pm 7.65	0.14	-0.02
10	151.71 \pm 8.06	150.63 \pm 7.03	0.14	0.67	153.71 \pm 6.07	-0.28	0.52
12	153.99 \pm 9.37	152.44 \pm 7.95	0.18	0.78	156.01 \pm 6.77	-0.25	0.63
14	157.07 \pm 11.16	154.89 \pm 7.38	0.23	0.69	156.82 \pm 7.22	0.03	0.53
15	153.26 \pm 12.44	153.01 \pm 8.89	0.02	0.83	155.36 \pm 9.98	-0.19	0.42

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient.

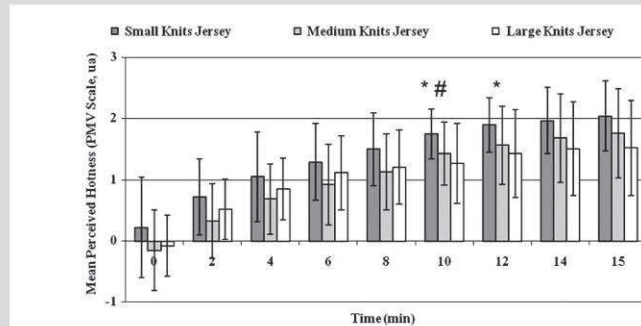


Figure 1. Rating of perceived hotness during 15-minute time trial performed at constant power output by using different polyester jerseys. Data are mean \pm SD. *Perceived hotness with large knits was significantly lower ($p < 0.05$) than with small knits. #Perceived hotness with medium knits was significantly lower ($p < 0.05$) than with small knits.

the hub of the rear wheel (PowerTap, Cycleops, Saris Cycling Group Inc., Madison, WI, USA) and mounted in a calibrated home trainer (CatEye CS-1000, Cat Eye co. Inc®, USA) inside the climate room. None of the participants was acclimated to the specific environmental conditions of the study. After being equipped with an HR monitoring belt (PowerTap, Cycleops®) and a thermal skin captor placed on their torso (sixth segment of the sternum), the participants were asked to perform a standardized warm-up consisting of a 10-minute topless cycling incremental effort (3 minutes at 100 W, 3 minutes at 125 W, 3 minutes at 150 W, and 1 minute at 175 W) inside the conditioned room. Then they performed the tests, which consisted of performing for 15 minutes at a constant 150 W power output. This exercise bout corresponds to exercise intensity of the warm-up usually performed on a home trainer

by riders before track or bicycle motocross (BMX) cycling competition (12), where they perform at least 2 qualifying heats and one final in the same day.

Each session occurred in a room where the temperature and relative humidity were accurately controlled. To simulate real cycling conditions, the participants were cooled by an electric fan with a constant wind speed ($2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). For each session, the participants randomly wore one of the 3 following 100% polyester cycling jerseys: (a) small knits jersey (SK), with knits of 2 mm, density $171 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (Noret France); (b) medium-knit jersey (MK), with knits of 3 mm, density $160 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (Noret Dry Clim®) or (c) large-knit jersey (LK) with knits of 3.5 mm, density $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (Nalini®, Italia). To avoid any influence on the perceptual responses, the participants were not allowed to even look at the jerseys before the experiment and were blinded with opaque goggles for the duration of the test. Moreover, the participants were forbidden to touch the jersey. For this reason, with their fists tightly closed, the participants were dressed by an experimenter. Therefore, the blind participants could discern materials only with the skin of their chest and back.

Although blinded, the participants were frequently informed by a nearby operator about the time elapsed and if they were over or under the 150 W, and they had to adjust their cadence and cycling speed to maintain this power output target. After each experiment, the participants rested passively for 20

TABLE 3. Mean and SD of the perceived hotness (arbitrary units), ES, and ICC compared to small knits condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	ES	ICC	Mean \pm SD	ES	ICC
0	0.23 \pm 0.82	-0.15 \pm 0.66	0.50	0.51	-0.08 \pm 0.50	0.44	-0.02
2	0.73 \pm 0.62	0.33 \pm 0.61	0.65	0.30	0.53 \pm 0.49	0.36	0.50
4	1.05 \pm 0.73	0.69 \pm 0.57	0.55	0.70	0.85 \pm 0.50	0.32	0.46
6	1.29 \pm 0.63	0.93 \pm 0.66	0.57	0.64	1.12 \pm 0.61	0.29	0.13
8	1.50 \pm 0.59	1.13 \pm 0.62	0.61	0.70	1.21 \pm 0.60	0.49	0.15
10	1.95 \pm 0.48	1.43 \pm 0.51	1.05	0.32	1.27 \pm 0.65	1.18	0.14
12	2.03 \pm 0.53	1.57 \pm 0.64	0.78	0.56	1.36 \pm 0.74	1.04	0.31
14	1.97 \pm 0.54	1.69 \pm 0.72	0.45	0.77	1.51 \pm 0.76	0.70	0.69
15	2.05 \pm 0.57	1.76 \pm 0.73	0.44	0.65	1.53 \pm 0.78	0.76	0.66

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient.

TABLE 4. Mean and *SD* of the perceived exertion (arbitrary units), ES, and ICC compared to small knits condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm <i>SD</i>	Mean \pm <i>SD</i>	ES	ICC	Mean \pm <i>SD</i>	ES	ICC
0	9.15 \pm 8.95	8.95 \pm 1.52	0.13	0.50	9.13 \pm 1.82	0.01	0.84
2	9.73 \pm 9.30	9.30 \pm 1.55	0.28	0.76	9.38 \pm 1.90	0.21	0.87
4	10.25 \pm 9.83	9.83 \pm 1.86	0.25	0.87	9.67 \pm 1.91	0.34	0.91
6	10.60 \pm 10.05	10.05 \pm 1.86	0.30	0.90	9.93 \pm 2.05	0.35	0.92
8	10.78 \pm 10.50	10.50 \pm 2.26	0.13	0.94	10.26 \pm 2.13	0.26	0.93
10	10.95 \pm 10.73	10.73 \pm 2.49	0.10	0.97	10.46 \pm 2.25	0.23	0.97
12	11.05 \pm 11.10	11.10 \pm 2.79	-0.02	0.98	10.55 \pm 2.29	0.22	0.96
14	11.45 \pm 11.48	11.48 \pm 3.10	-0.01	0.95	10.72 \pm 2.34	0.31	0.91
15	11.57 \pm 11.50	11.50 \pm 3.03	0.03	0.96	10.82 \pm 2.49	0.30	0.89

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient.

minutes in a temperate room (25°C and 50% RH) and wore a cooling vest during the first 10 minutes (Ice-shirt, Vtherm®, Roche Lez Beaurpré, France). During the experiment, jersey surface temperature (captor fixed at the left scapula's inferior angle) was recorded every 2 minutes (Thermistore thermometer 400, DigiSens®, Barrington, IL, USA).

Perceived exertion and thermal comfort were also investigated every 2 minutes by using the rating of perceived exertion (RPE) 6–20 scale (2) and Predicted Mean Vote Index (PMV) Scale (1) (see Table 1), respectively. The PMV Scale is a 7-item graduated scale with a range of -3 to +3 in which the -3 items correspond to a very cold sensation and +3 a very hot one. Zero value corresponds to a neutral thermal sensation. During the experiment, the participants could freely drink H₂O.

Statistical Analyses

Data are presented as their mean (*M*) and *SD*. Because the data from this study meets statistical assumptions for using

parametric statistics (i.e., homogeneity of variance and normality of the sample distribution), a 2-way analysis of variance (3 conditions \times 8 times) was used followed by a Scheffé post hoc test (Statview SAS Institute Inc version 5). Statistical significance was accepted at the $p \leq 0.05$ level. Effect size (ES) and intraclass correlation coefficient (ICC) were calculated for each test. The definition of Cohen (6) for small, medium, and large ES (= 0.2, 0.5, and 0.8, respectively) was used.

RESULTS

No significant difference ($p > 0.05$) of room temperature (mean \pm *SD* for SK: 29.01 \pm 1.44°C, MK: 29.10 \pm 0.84°C, and LK: 29.30 \pm 0.90°C), relative humidity (mean \pm *SD* for SK: 71.80 \pm 0.01% RH, MK: 72.14 \pm 0.02% RH, and LK: 70.94 \pm 0.02% RH), H₂O drunk (mean \pm *SD* for SK: 0.45 \pm 0.18 L, MK: 0.42 \pm 0.15 L, and LK: 0.37 \pm 0.16 L) or body

TABLE 5. Mean and *SD* of heart rate (rpm), ES, and ICC compared to small knit condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm <i>SD</i>	Mean \pm <i>SD</i>	ES	ICC	Mean \pm <i>SD</i>	ES	ICC
2	110.52 \pm 14.22	113.83 \pm 15.99	-0.22	0.90	116.05 \pm 19.29	-0.33	0.12
4	126.59 \pm 18.38	129.60 \pm 13.97	-0.18	0.93	133.36 \pm 14.80	-0.41	0.13
6	135.18 \pm 12.41	136.82 \pm 14.07	-0.12	0.78	138.82 \pm 11.85	-0.30	0.27
8	136.30 \pm 15.32	135.48 \pm 13.67	0.06	0.95	139.04 \pm 13.81	-0.19	0.31
10	135.65 \pm 15.26	134.31 \pm 15.23	0.09	0.99	140.57 \pm 13.19	-0.34	0.47
12	136.15 \pm 14.99	136.27 \pm 15.98	-0.01	0.93	138.69 \pm 11.56	-0.19	0.29
14	134.38 \pm 16.52	140.02 \pm 14.62	-0.36	0.26	137.48 \pm 18.59	-0.18	0.49
15	133.81 \pm 19.47	139.25 \pm 14.51	-0.43	-0.13	138.68 \pm 11.01	-0.21	0.30

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient. Mean and *SD* of the heart rate (bpm), ES, and ICC compared to small knits condition.

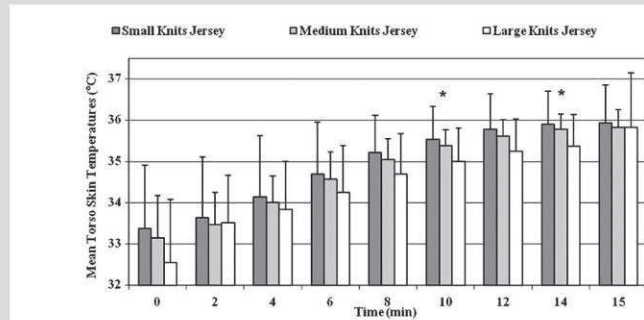


Figure 2. Torso skin temperature during a 15-minute time trial performed at constant power output by using different polyester jerseys. Data are mean \pm SD. *Skin temperature with large-knit jerseys was significantly lower ($p < 0.05$) than with small-knit jerseys.

mass loss (mean \pm SD for SK: 0.30 ± 0.28 kg, MK: 0.31 ± 0.26 kg, and LK: 0.27 ± 0.25 kg) has been observed among the different conditions. Concerning power output, no significant changes ($p > 0.05$) were found among the 3 conditions. This result is confirmed by the ICC and small ES values (Table 2).

However, the results indicated a significant jersey effect on perceived hotness ($F = 11.14$, $p < 0.0001$, power = 0.99) and a significant time effect ($F = 27.60$, $p < 0.0001$, power = 1) during the whole test session. Post hoc tests revealed significant differences ($p < 0.05$) in perceived hotness between the LK and SK (ES = 1.18, ICC = 0.14) and MK and SK jerseys (ES = 1.05, ICC = 0.32) at minute 10 and between the LK and SK jerseys (ES = 1.04, ICC = 0.31) at minute 12 of exercise (Figure 1 and Table 3).

Concerning perceived exertion (Table 4), the results indicated a significant time effect ($F = 3.83$, $p < 0.001$, power = 0.99) but no significant jersey effect ($F = 1.28$, $p > 0.05$, power = 0.26). The low ES values and ICC support this finding. In addition, a significant time effect ($F = 7.92$, $p < 0.0001$, power = 1) but no significant jersey effect was found for HR ($F = 1.78$, $p > 0.05$, power = 0.35) during the experiment. These results are in line with the low ES values and ICC observed (Table 5).

A significant jersey effect for torso skin temperature ($F = 5.20$, $p < 0.001$, power = 0.83) and a significant time effect ($F = 31.49$, $p < 0.0001$, power = 1) during the tests were found. As indicated in Figure 2, significant differences ($p < 0.05$) of torso skin temperature were found between LK and SK jerseys at minutes 10 and 14 of exercise. These results are in line with the large ES values and ICC observed (Table 6).

A significant jersey effect was observed for jersey temperature ($F = 6.42$, $p < 0.01$, power = 0.91) and a significant time effect ($F = 40.69$, $p < 0.0001$, power = 1) during the experiment. As indicated in Figure 3, significant differences in the jersey temperature were observed between LK and SK jerseys after 12 minutes (ES = 0.83, ICC = -0.01), and between LK and MK and LK and SK after 14 minutes of exercise (ES = 0.90, ICC = 0.05) (Table 7).

TABLE 6. Mean and SD of the torso skin temperature (°C), ES, and ICC compared to small knits condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	ES	ICC	Mean \pm SD	ES	ICC
0	33.38 \pm 1.53	33.15 \pm 1.03	0.18	0.06	32.55 \pm 1.53	0.54	-0.20
2	33.64 \pm 1.46	33.47 \pm 0.78	0.15	0.20	33.51 \pm 1.16	0.10	-0.12
4	34.15 \pm 1.48	34.00 \pm 0.64	0.13	0.36	33.84 \pm 1.16	0.23	-0.02
6	34.69 \pm 1.25	34.57 \pm 0.66	0.13	0.50	34.25 \pm 1.14	0.37	-0.22
8	35.21 \pm 0.90	35.05 \pm 0.50	0.22	0.26	34.69 \pm 0.97	0.55	-0.45
10	35.63 \pm 0.79	35.39 \pm 0.38	0.38	0.41	34.92 \pm 0.89	0.84	-0.71
12	35.78 \pm 0.86	35.61 \pm 0.41	0.26	0.35	35.24 \pm 0.79	0.65	-0.65
14	35.93 \pm 0.78	35.79 \pm 0.36	0.23	0.09	35.32 \pm 0.74	0.81	-0.58
15	35.94 \pm 0.91	35.83 \pm 0.43	0.15	0.06	35.82 \pm 1.32	0.10	-0.13

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient.

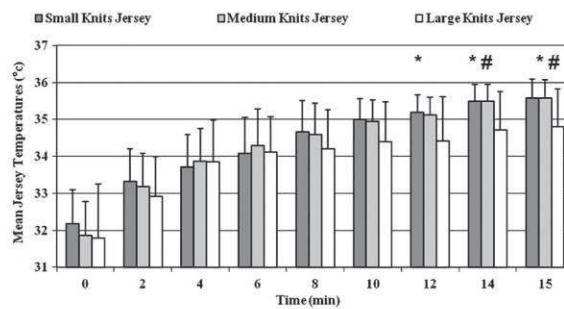


Figure 3. Jersey temperature during a 15-minute time trial using different polyester jerseys. Data are mean \pm SD. *Jersey temperature with large knits was significantly lower ($p < 0.05$) than with small-knit jerseys. #Jersey temperature with large-knit jerseys was significantly lower ($p < 0.05$) than with medium-knit jerseys.

TABLE 7. Mean and SD of the jersey temperature ($^{\circ}\text{C}$), ES, and ICC compared to small knits condition.*

Time (min)	Small knits	Medium knits			Large knits		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	ES	ICC	Mean \pm SD	ES	ICC
0	32.18 \pm 1.27	31.85 \pm 0.93	0.29	-0.73	31.79 \pm 1.45	0.28	-0.16
2	33.32 \pm 1.12	33.19 \pm 0.89	0.13	0.26	32.91 \pm 1.08	0.37	0.43
4	33.70 \pm 1.03	33.87 \pm 0.89	-0.17	0.60	33.86 \pm 1.13	-0.14	0.14
6	34.08 \pm 0.96	34.29 \pm 0.98	-0.22	0.51	34.11 \pm 0.95	-0.04	-0.10
8	34.66 \pm 0.88	34.60 \pm 0.85	0.07	0.44	34.20 \pm 1.06	0.48	-0.16
10	35.00 \pm 0.76	34.95 \pm 0.57	0.08	0.28	34.39 \pm 1.09	0.64	-0.26
12	35.22 \pm 0.68	35.12 \pm 0.48	0.17	0.66	34.40 \pm 1.21	0.83	-0.01
14	35.49 \pm 0.63	35.50 \pm 0.46	-0.01	0.78	34.72 \pm 1.04	0.90	0.05
15	35.63 \pm 0.72	35.58 \pm 0.50	0.08	0.84	34.80 \pm 1.02	0.94	0.04

*ES = effect size; ICC = intraclass correlation coefficient.

DISCUSSION

The aim of this study was to investigate the influence of polyester jerseys with knits of different sizes on physiological and perceptual responses in trained cyclists during a sub-maximal exercise performed in a hot and moist environment. It was hypothesized that the size of the knits might influence thermal comfort and thermoregulation. The lack of significant difference of room temperature, relative humidity, hydration status, and power output developed by the participants among the different conditions suggests that the environmental and exercise conditions were correctly controlled.

However, the most important finding of this study is that the use of polyester jerseys with knits of different sizes could influence thermal comfort and physiological responses of the cyclists tested. Indeed, a significant difference in torso skin temperature between large and small knits has been observed at minutes 10 and 14 in the participants, without any significant

changes of body mass. This finding is supported by the significant difference of jersey temperature observed between both jerseys after 12 minutes. Therefore, the significant difference of perceived hotness recorded between these jerseys at minutes 10 and 12 may confirm these observations. Therefore, it may be possible that the size of the knits could affect heat loss. The fact that during the experiment the surface jersey temperatures were always around 1°C inferior to the skin temperature seems to confirm this hypothesis. This result is in line with the finding of Houdas and Ring (17), who suggested that the skin temperature could be reduced with increased airflow, because of the large size of the knits, because forced convection by airflow is known to increase the removal of heat from the body to the atmosphere.

However, the significant difference of perceived hotness, jersey, and skin temperatures observed among the 3 jerseys does not influence HR during exercise. In contrast to previous

studies (13,19), the garments tested did not significantly affect either perceived exertion or HR during controlled exercise intensity. This result, previously reported by Roberts et al. (20) may be explained by the fact that participants observed in this study performed a moderate and short exercise. This finding is in accordance with that of Borg (2), who reported that perceived exertion is not influenced to the same degree by the heat but more by the actual physical exercise. Therefore, it is probable that a more intense and longer exercise could significantly affect perceived exertion and HR as previously reported by Duffield et al. (9) and Shirreffs et al. (23). Further investigations carried out on more intense (>150 W), prolonged exercises (>15 minutes), or both are encouraged to confirm this hypothesis.

PRACTICAL APPLICATIONS

As advised by Gonzalez (11) and within the experimental conditions of this study, a polyester jersey made with large knits (3.5-mm wide with textile density of 120 g·m⁻²) provides better skin temperature control and thermal comfort than a polyester jersey made with either medium or small knits (respectively, 3-mm wide with textile density of 160 g·m⁻² and 2 mm with textile density of 171 g·m⁻²). Therefore, coaches are encouraged to take particular care that their athletes wear clothing appropriate to the exercise in hot and moist conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Maxiperf Association and the French Cycling Federation for their support of this study.

REFERENCES

1. Ashrae. *Thermal Comfort Conditions*. New York: ASHRAE standard 55.66, 1996.
2. Borg, G. *Perceived Exertion and Pain Scale*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998.
3. Brazaitis, M, Kamandulis, S, Skurvydas, A, and Daniuseviciute, L. The effect of two kinds of T-shirts on physiological and psychological thermal responses during exercise and recovery. *Appl Ergon* 42: 46–51, 2010.
4. Chan, KOW, Wong, SHS, and Chen, YJ. Effects of a hot environment on simulated cycling and running performance in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 48: 149–157, 2008.
5. Ciesielska, I, Mokwiński, M, and Orłowska-Majdak, M. Influence of different kind of clothing material on selected cardiovascular, respiratory and psychomotor parameters during moderate physical exercise. *Int J Occup Med Environ Health* 22: 215–226, 2009.
6. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associated, 1988.
7. Dai, X, Imamura, R, Liu, G, and Zhou, F. Effect of moisture transport on microclimate under T-shirts. *Eur J Appl Physiol* 104: 337–340, 2008.
8. Duffield, R, Coutts, AJ, and Quinn, J. Core temperature responses and match running performance during intermittent-sprint exercise competition in warm conditions. *J Strength Cond Res* 23: 1238–1244, 2009.
9. Duffield, R and Marino, FE. Effects of pre-cooling procedures on intermittent-sprint exercise performance in warm conditions. *Eur J Appl Physiol* 100: 727–735, 2007.
10. Gavin, TP, Babington, JP, Harms, CA, Ardelt ME, Tanner, DA, and Stager, JM. Clothing fabric does not affect thermoregulation during exercise in moderate heat. *Med Sci Sports Exerc* 33: 2124–2130, 2001.
11. Gonzalez, RR. Biophysical and physiological integration of proper clothing for exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 15: 261–295, 1987.
12. Grappe, F. *Cyclisme et Optimisation de la Performance*. Paris, France: De Boeck, 2009.
13. Ha, M, Tokura, H, and Yamashita, Y. Effects of two kinds of clothing made from hydrophobic and hydrophilic fabrics on local sweating rates at an ambient temperature of 37 degrees C. *Ergonomics* 38: 1445–1455, 1995.
14. Ha, M, Tokura, H, Yanai, Y, Moriyama, T, and Tsuchiya, N. The effects of fabric air permeability and moisture absorption on clothing microclimate and participative sensation in sedentary women at cyclic changes of ambient temperatures from 27 degrees C to 33 degrees C. *J Hum Ergol* 28: 1–13, 1999.
15. Hargreaves, M. Physiological limits to exercise performance in the heat. *J Sci Med Sport* 11: 66–71, 2008.
16. Hargreaves, M and Febbraio, M. Limits to exercise performance in the heat. *Int J Sports Med* 19: 115–116, 1998.
17. Houdas, Y and Ring, EFJ. *Human body temperature: Its measurement and regulation*. New York, NY: Plenum Press, 1982.
18. Kozłowski, S, Brzezinska, Z, Kruk, B, Kaciuba-Uscilko, H, Greenleaf, JE, and Nazar, K. Exercise hyperthermia as a factor limiting physical performance: Temperature effect on muscle metabolism. *J Appl Physiol* 59: 766–773, 1985.
19. Maw, GJ, Boutcher, SH, and Taylor, NA. Ratings of perceived exertion and affect in hot and cool environments. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67: 174–179, 1993.
20. Roberts, BC, Waller, TM, and Caime, MP. Thermoregulatory response to base layer garments during treadmill exercise. *Int J Sports Sci Eng* 1: 29–38, 2007.
21. Schlader, ZJ, Prange, HD, Mickleborough, TD, and Stager, JM. Characteristics of the control of human thermoregulatory behavior. *Physiol Behav* 98: 557–562, 2009.
22. Schlader, ZJ, Stannard, SR, and Mündel, T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise—A prospective review. *Physiol Behav* 99: 269–275, 2010.
23. Shirreffs, SM, Aragon-Vargas, LF, Chamorro, M, Maughan, RJ, Serratos, L, and Zachwieja, JJ. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int J Sports Med* 26: 90–95, 2005.

PUBLICATION 2

Sujet: Submitted manuscript no. J Sports Med Phys Fitness-4317 - The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness

De : journals6.dept@minervamedica.it

Date : 07/11/2012 12:07

Pour : gonzalesbenoit@hotmail.com

Dear Mr. Benoît GONZALES,

Your manuscript entitled

Self-paced cycling performance and recovery under a hot and highly humid environment after cooling.

has been received by the editorial office of The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness and registered under number J Sports Med Phys Fitness-4317.

This reference number will help you track your manuscript's status online in the "ONLINE SUBMISSION" section of the website www.minervamedica.it.

Thank you for your interest in Edizioni Minerva Medica journals.

Sincerely,

Edizioni Minerva Medica
Editorial Office

.....
Edizioni Minerva Medica
Corso Bramante 83-85
10126 Torino, Italy
Phone +39-011-678282, fax +39-011-674502
www.minervamedica.it

PUBLICATION 3

Sujet: JAT0406-12 Receipt of New Paper by Journal of Athletic Training

De : jathtr@mindspring.com

Date : 19/11/2012 21:53

Pour : gonzalesbenoit@hotmail.com

Copie à : gonzalesbenoit@hotmail.com

November 19, 2012

Dear Mr. GONZALES:

Thank you for the submission of your manuscript, "Upper-body pre-cooling and anaerobic cycling performance in a hot and moist environment." It has been assigned number JAT0406-12.

The manuscript will now undergo review by at least 3 athletic trainers or other sports medicine professionals. We will be in touch with you at the conclusion of the review process, which often takes several months. You may check the status of your manuscript during that time by clicking on the link represented by the manuscript tracking number and abbreviated title and then clicking on "Check Status."

If you have any questions during the review process, please contact me at jathtr@mindspring.com.

Please follow the link below to download the required author Copyright and Financial Disclosure forms under "For Authors."

<http://www.journalofathletictraining.org/>

The completed forms should be mailed, e-mailed, or faxed to the Editorial Office:

Journal of Athletic Training
6262 Veterans Parkway
Columbus, GA 31909
fax 706-494-3348
e-mail jathtr@mindspring.com

Sincerely,

Leslie Neistadt
Journal of Athletic Training
6262 Veterans Parkway
P.O. Box 9517
Columbus, GA 31908-9517
phone (706) 494-3345
fax (706) 494-3348
e-mail: jathtr@mindspring.com

PUBLICATION 4

Est-II

Email : cpp@chu-besancon.fr

D.R.C.I

CHRU DE BESANCON

Hôpital Saint Jacques

JPK/KB

Réf protocole CPP : 11/607

Vos réf : « Refroidissement corporel et performances cognitives dans la sclérose en plaques : étude exploratoire » - Etude THERMOSEP

(référence à rappeler impérativement dans toute correspondance)

Service de Neurologie

CHRU DE BESANCON

Hôpital Jean Minioz.

Madame la Présidente,

Le Comité lors de la session du lundi 20 juin 2011 a examiné l'étude intitulée :

« Refroidissement corporel et performances cognitives dans la sclérose en plaques : étude exploratoire » - Etude THERMOSEP.

Les modifications apportées au protocole répondent à l'ensemble des questions soulevées par le CPP lors de la séance.

Le CPP Est-II fonctionne en conformité avec les Bonnes Pratiques Cliniques. (ICH-GCP).

Vu le courrier de demande d'avis initial du 20/05/11, le document additionnel et le formulaire EudraCT datés et signés du 20/05/11, le protocole amendé et son résumé (version 2 du 06/10/11), la note d'information et le formulaire de recueil de consentement éclairé (version 1 du 15/05/11), la liste investigateurs (version 1 du 15/05/11) accompagnée des CV investigateurs: Pr Rumbach (coordonnateur principal), Drs Berger, Magnin – CHRU de Besançon, et l'attestation d'assurance « HDI Gerling » de Biomédicinsure datée et signée du 20/05/11, le CPP donne un **AVIS FAVORABLE** à l'unanimité.

Ont participé à la délibération :

Catégorie I : Pr Kantelip, Pr Toussirot, Pr Haffen, Dr Pazart

Catégorie II : Dr Vandell

Catégorie III : Dr Essert

Catégorie IV : Mme Lavier

Catégorie V :

Catégorie VI :

Catégorie VII : Mme Pelletier

Catégorie VIII : Mr Flammарion, Melle Depierre

Catégorie IX :

Les membres titulaires (ou suppléant en l'absence du titulaire) ont participé au vote.

Professeur Jean Pierre KANTELIP

Influence of a conservative sleep management strategy during a solo Pacific Ocean crossing on anxiety and perceived fatigue: A case study

VINCENT HAGIN¹, BENOÎT R. GONZALES¹, ROBIN B. CANDAU², & ALAIN GROSLAMBERT¹

¹Laboratory C3S – Culture, Sports, Health and Society, Université de Franche-Comté, Besançon, France and ²Faculté des Sciences du Sport, UMR866 INRA Dynamique Musculaire et Métabolisme, 2 Place Viala, 34060 Montpellier, France

(Accepted 22 November 2011)

Abstract

The aim of this case study was to determine whether a sailor's deliberate choice of a conservative strategy to manage sleep deprivation would allow him to cross the Pacific Ocean and to minimize his state of anxiety and perceived fatigue. The participant, who had more than 10 years' sailing experience in severe conditions, was tested on a small catamaran without any living quarters during a solo Pacific Ocean crossing. Estimations of sleep hours, state anxiety, and perceived fatigue were self-reported by the sailor on a daily basis using a specific questionnaire. The most important finding is that the sailor's deliberate sleep strategy, 5.4 h sleep per day (24% less than on-shore), was enough to keep his anxiety and perceived fatigue within acceptable limits and enabled him to achieve his goal, which was the first crossing of the Pacific Ocean on a catamaran of less than 6 m. In conclusion, our results suggest that the sailor observed in the present case study was able to minimize anxiety and perceived fatigue with adequate sleep to optimize his performance, security, and to achieve his goal.

Keywords: *Sailing, extreme environment, anxiety, sleep deprivation, modelling*

Introduction

Lewis and colleagues (Lewis, Harries, Lewis, & De Monchaux, 1964) were the first to study a sailor's behaviour during an Atlantic crossing in 1960. They decrypted the sailor's behaviour in an ecological situation and one of their suggestions was that the sailor's personality might play a major role in his behaviour rather than the environment itself (i.e. wind and sea conditions). However, Bennet (1973) was the first to report that sailors were not performing to their best ability. He suggested those impaired performances were due to a time relationship and a connection between impaired performance and adverse environmental conditions, as well as calms experienced by sailors during the 1972 solitary transatlantic sailing race. Since then, sleep patterns have been evaluated (Léger et al., 2008; Lewis et al., 1964; Stampi, 1989). It has been shown that to adapt to extreme sailing conditions and improve performance, sailors replace continuous sleep with polyphasic sleep lasting between 20 min and 2 h for a total of 4.5–5.5 h of sleep per day (Stampi, 1989). Léger

et al. (2008) have reported the use of sleep management strategies before as well as during racing. Moreover, they showed that sailors who managed to get enough sleep before the race believed their sailing performance and total sleep on board to be influenced in a positive way.

Banks and Dinges (2007) established that a chronic restriction of sleep, starting at less than 7 h, can lead to neurobehavioural and physiological disorders as severe as those encountered during total sleep deprivation for between 1 and 3 nights. One of the main effects of sleep deprivation is on the performance of psychomotor tasks requiring vigilant attention (Balkin et al., 2004; Dorrain, Rogers, & Dinges, 2005), which are important for single-handed sailing.

In other models, taken from the merchant navy, seamen work in shifts of 4 h on/8 h off. Rutenfranz et al. (1988) showed that all watch-keepers displayed fragmented sleep patterns, indicating difficulties in adapting to the sleep/wakefulness cycle. Sanquist and colleagues (Sanquist, Raby, Forsythe, & Carvalhais, 1997) also showed a reduction in alertness during the second half of the day. Moreover, in a laboratory

Correspondence: V. Hagin, Université de Franche-Comté, UPFR-Sports, 31 chemin de l'épithaphe, 25000 Besançon, France.
E-mail: vincent.hagin@univ-fcomte.fr

ISSN 0264-0414 print/ISSN 1466-447X online © 2012 Taylor & Francis
<http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2011.644248>

study with a different model (6 h on/6 h off), Eriksen and colleagues (Eriksen, Gillberg, & Vestergrén, 2006) observed perturbations in sleep patterns and an increase in sleepiness during the night and early morning watch. Belenky et al. (2003) have observed that this decrease in performance can be either completely restored through a full night's sleep or partially restored with shorter periods of sleep. Van Dongen and colleagues (Van Dongen, Maislin, Mullington, & Dinges, 2003) labelled this phenomenon the "dose-response effect".

A reduction in total hours of sleep also has consequences for the perception of anxiety and fatigue. To date, this relationship has been less well studied in ecological contexts compared with in the laboratory. One study reported a strong relationship between sleep deprivation and perceived fatigue during long-haul flights for crews, who had increased response times, eventually leading to small mistakes in tasks such as interpretation and calculation (Bourgeois-Bougrine, Carbon, Gounelle, Mollard, & Coblenz, 2003). In a study conducted under sailing conditions during the Atlantic crossing in 2002, Gros Lambert and colleagues (Gros Lambert, Candau, & Millet, 2008) reported that anxiety and perceived fatigue are affected by wind force and, to a lesser extent, the cumulative effects of sleep deprivation. Most studies conducted in laboratory conditions support the notion that partial sleep or total sleep deprivation increases one's state of anxiety (Chambers & Kim, 1993; Kahn-Greene, Killgore, Kamimori, Balkin, & Killgore, 2007; Peeke, Callaway, Jones, Stones, & Doyle, 1980; Vardar et al., 2007; Vein, Dallakyan, Levin, & Skakun, 1983). However, Bonnet and Arand (1998) reported no significant effect of a lack of sleep on anxiety. For Kulas (2001), the experience of the sport itself reduces feelings of anxiety, but sailors' state of anxiety is likely higher than in any other sport. Sleep deprivation and its influence on the perception of fatigue and anxiety during performance is a well studied field but, to the best of our knowledge, only Gros Lambert et al. (2008) have modelled sleep deprivation, anxiety, and environmental factors such as wind force in ecological conditions. We found it highly challenging to follow the recommendation of these authors to conduct a methodological replication of the Atlantic crossing in 2002, but with a larger observation sample. In addition, we thought it interesting to study the impact of those factors on the anxiety and perceived fatigue of sailors faced with extreme conditions, such as those experienced during an ocean crossing.

Thus, the purpose of this study was to determine whether a sailor's deliberate choice of a conservative strategy to manage sleep deprivation and to minimize his state of anxiety and perceived fatigue

would help him to cross the Pacific Ocean. The strategy was for the sailor to try to sleep at least 6 cumulative hours per day. It was hypothesized that this conservative management of sleep deprivation would influence psychological variables important for the safety of the sailor. A marked increase in anxiety and/or perceived fatigue might decrease the cognitive and the physical capacities required for sailing. In addition, wind force was considered in the present study as a potential covariate in the relationship between sleep, fatigue, and state of anxiety.

Methods

Participant

The participant in the present study was an experienced male sailor (age 35 years, training background of over 10 years of regular solo practice). The sailor provided written consent to participate in the investigation. The case study and the protocol received approval from the local ethics committee of the University of Franche-Comté. The sailor's challenge was to establish the first unassisted world record for crossing the Pacific Ocean in a solo sports catamaran. After his experience of the Atlantic crossing (Gros Lambert et al., 2008), he decided to use a 6 h per day sleep management strategy for this Pacific challenge. Before the start, the sailor was subjected to a medical check-up. During the crossing, he only suffered from sea sickness at the end of the first day and in the middle of the trip, and due to the bad weather conditions he was unable to have regular bowel movements and suffered from some dizziness. A couple of weeks before the end of his crossing, the sailor suffered from a sore throat (treated with antibiotics, for which we do not know if there are any side-effects related to sleep) and some skin problems on his face and shoulders (treated with skin cream).

Boat

The boat was a non-submersible self-built wood-epoxy construction catamaran (5.97 m long, 2.5 m wide) with an integrated self-recovery system. This class (<20 feet) is recognized officially by the World Sailing Speed Record Council and has the accreditation of the International Sailing Association Federation. The boat weighed 480 kg, plus 250 kg of food (e.g. lyophilized food, lemon, cookies, condensed milk, honey) and water. The boat was also equipped with a freshwater producer, a fishing line, a reflecting radar (detectable by big vessels), an SOS distress beacon (emergency position indicating radio beacon), a global positioning system, an

autopilot (which was lost on day 27 and replaced with a self-made one), and a cell phone. The boat was rigged with a mast (9 m) and boom, both made of aluminium, a main sail (20 m²), two jibs (9 and 5 m² respectively), a storm jib, and three gennakers (18 m²). The boat did not have any living quarters, which made navigation extremely difficult. Because the sailor was exposed continuously to the sun, wind, and sea spray even while sleeping or resting, he was equipped with a dry suit for his protection. To sleep, the sailor used an inflatable mattress and a polyvinyl chloride cloth as protection.

Itinerary

The chosen route was 4482 nautical miles, starting in Yokohama, Japan on 10 June 2006, sailing eastwards through the Pacific Ocean, and arriving in San Francisco, California on 11 August 2006.

Data collection

On a daily basis, at noon while the boat was steered by the autopilot, the sailor was asked to read standardized instructions and to complete by hand a specific questionnaire (Questionnaire for Evaluation of Fatigue and Anxiety, QEFA; Millet, Gros-lambert, Barbier, Rouillon, & Candau, 2005) (see Table I). The QEFA contains 19 items measuring anxiety, perceived fatigue, sleep quality, and appetite. Only three days of data (days 37, 47 and 48) were lost during the 62 days of the crossing.

The participant responded to each questionnaire item by rating himself on a 4-point Likert scale (1 = "not at all"; 2 = "somewhat"; 3 = "moderately

so"; 4 = "very much"). For items on which a high rating indicates low anxiety, the scoring weight is reversed.

Evaluation of anxiety

Level of anxiety is evaluated by eight items (items 1–8 in Table I). Items 1, 3, 5, and 7 indicated a high level of anxiety when the sailor's response was "not at all". Items 2, 4, 6, and 8 indicated a high level of anxiety when the sailor's response was "very much". The range in anxiety scores is from a minimum of 8 to a maximum of 32.

Evaluation of perceived fatigue

Perceived fatigue is evaluated by items 9–17. Items 9, 13, 14, and 15 indicated a low perceived fatigue when the sailor's response was "not at all". Items 10, 11, 12, 16, and 17 indicated a low perceived fatigue when the response was "very much". The range in perceived fatigue scores is from a minimum score of 9 to a maximum of 36.

Evaluation of appetite

Item 18 evaluates appetite. A score of "very much" indicated the desire to eat. The score range was from 1 to 4.

Sleep evaluation

Some variables investigated are redundant, especially perceived fatigue (estimated by items 9–17), and item 19, which logged the sailor's sleep quality.

Table I. Questionnaire for Evaluation of Fatigue and Anxiety Instructions: "We would like to know how you feel at the present time".

Items	Not at all	Somewhat	Moderately so	Very much
1. I feel self-confident				
2. I feel depressed				
3. I feel relaxed				
4. I feel nervous				
5. I feel happy				
6. I feel anxious				
7. I feel peaceful				
8. I feel irritable				
9. I feel tired				
10. I feel able to think				
11. I feel on form				
12. I feel energetic				
13. I am somnolent				
14. I feel awkward				
15. I have muscular pains				
16. I have a strong will				
17. I have the desire to succeed				
18. I have a good appetite				
19. I feel sleepy				

The sleep quality score ranged from 1 to a maximum of 4, and a high score indicated a low quality of sleep. In addition, the sailor was asked to estimate his total number of effective sleep hours during the last 24 h. Total sleep hours were evaluated during the entire crossing by filling in a sleep diary after each sleep session. However, many sleep-deprived people have "micro sleeps" of a few seconds to a few minutes. This variable was not reported in the questionnaire because, by definition, micro sleeps were very difficult to self-record. Nevertheless, one may assume that during his crossing, our participant had micro sleeps that noticeably decreased his actual sleep deficit.

Evaluation of environmental conditions

The sailor measured some complementary data, which were logged on a daily basis. Data were recorded for wind intensity (in knots) measured with an anemometer, and the distance covered during the last 24 h (nautical miles) measured using a global positioning system. Finally, the sailor had the opportunity to make some comments in his sailing diary that have been used to better understand his behaviour.

Modelling the effects of sleep deprivation on anxiety and perceived fatigue

To determine baseline values, the sailor began to fill in the questionnaire 49 days before embarking from Yokohama, Japan, and he completed it for another 11 days after arriving in San Francisco, California. As a linear regression analysis does not take into account the cumulative effect in a relationship, we chose to use a nearly equivalent method with transfer functions. This method allowed us to describe and take into account the time relationship between sleep deprivation, anxiety or perceived fatigue by using a system where the input was sleep deprivation $SP(t)$ and the outputs were the level of state anxiety, $SA(t)$, and perceived fatigue, $PF(t)$, as a function of time t . The impulse first-order system retained had the following mathematical form:

$$g(t) = k \cdot e^{-t/\tau}$$

where τ is the decay time constant expressed in days, and k is a positive or negative factor (dimensionless) inducing an increase or a decrease in state anxiety and perceived fatigue, respectively.

The modelling procedure in the present study was similar to that used to describe the relationship between sleep deprivation, anxiety, and perceived fatigue during the Atlantic crossing in 2002 (see Gros Lambert et al., 2008). To reveal subtle relations between sleep deprivation, state anxiety, and per-

ceived fatigue, anxiety and fatigue variability due to wind force was removed from the system. A variance analysis was used to test whether the addition of a second transfer function, which could introduce an elevation in anxiety, significantly increased the variance of the model by considering the supplementary degrees of freedom introduced in the model (Busso, Candau, & Lacour, 1994). An auto-correlation function was applied to the series of state anxiety and perceived fatigue data of the participant to assess the stability of the results.

Analysis

Means and standard deviations were calculated for all variables. To compare the results from the Atlantic crossing with those from the Pacific Ocean crossing, effect sizes (ES) were calculated using the following formula, where μ_1 is the mean of an Atlantic crossing variable and μ_2 the mean of a Pacific crossing variable, and S_p^2 is the pooled standard deviation (Hedges, 1982):

The definitions of Cohen (1988) for small, medium, and large effect sizes ($ES = 0.20, 0.50$, and 0.80 , respectively) were used.

The normality of the distribution was tested with a Kolmogorov-Smirnov test and only the distance per day (miles) was accepted as a normal distributed variable during the crossing. To compare a variable before and during the crossing, a Mann-Whitney U -test was used and Pearson's correlation was used as a model of prediction between the different parameters. SPSS v.17.0 (Chicago, IL) statistical software was used for the statistical analysis. In all analyses, statistical significance was fixed at $P < 0.05$.

Results

Sailing performance

The World Sailing Speed Record Council and the International Sailing Association Federation have ratified this record as the first official transpacific single-handed Pacific Ocean crossing on a catamaran of less than 20 feet in length. The passage took 62 days, 17 hours, 51 minutes, and 55 seconds at an average speed of 2.97 knots.

Total sleep per day

Total sleep duration per day estimated by the sailor during the crossing (mean = 5.4 h, $s = 2.1$ h) was significantly lower than that on-shore (mean = 7.19 h, $s = 2.4$ h) (-24% ; $P < 0.001$). There was no established protocol but the sailor tried to sleep at dawn and during the day for periods of 20 min to 2 h providing that the wind was light. In addition,

we identified several other factors that played an important role in his sleep deprivation: (1) the loss of the auto-pilot on day 27 resulted in the sailor, who was alone onboard, spending long periods at the helm; (2) the configuration of the catamaran meant that there was no proper protection for the sailor from wind spray during storms and depressions while sleeping, since the boat had no cabin to protect him. The total number of sleep hours per day off-shore had a significant influence on perceived fatigue ($r = -0.34$, $P < 0.01$). Furthermore, a large effect size ($ES = 1.54$) was observed for the total number of sleep hours between his first crossing of the Atlantic and this Pacific crossing (see Table II).

Effect of sleep deprivation on state of anxiety

Pearson's correlation was used to show the state of anxiety in relation to the number of sleep hours

Table II. Comparison of the mean and standard deviation (s) of the different variables recorded during the Pacific and Atlantic crossings.

	Pacific		Atlantic*		ES
	mean	s	mean	s	
Wind (knots)	13.8	9.3	16.8	7.1	-0.35
Estimation of sleep duration (h)	5.4	2.1	2.8	1.0	1.54
Distance covered per 24 h (nautical miles)	81.6	39.6	95.4	35.4	-0.36
State of anxiety score (max. 32)	12.5	4.3	11.6	3.0	0.23
Perceived fatigue score (max. 36)	14.3	3.8	14.7	4.9	-0.14
Desire to sleep score (max. 4)	2.4	1.1	1.7	0.8	0.69

*Gros Lambert et al. (2008).

estimated per day ($r = -0.32$, $P < 0.05$). Furthermore, when the cumulative effect of sleep deprivation was taken into account by using a mono-exponential transfer function, a significant relationship was observed ($r = 0.35$, $P < 0.01$). A more complex modelling, including two exponential functions, was tested without success. Moreover, the time constant of 0.65 indicates that the negative cumulative effect of sleep deprivation had disappeared after 2–3 days (4–5 times the time constant).

Sleep quality and perceived fatigue

Sleep quality was significantly higher off-shore (mean = 2.4, $s = 1.1$) than on-shore (+36%; $P < 0.001$) and it was significantly related to perceived fatigue on-shore ($r = 0.57$; $P < 0.01$). However, we observed no significant difference ($P > 0.05$) in perceived fatigue between off-shore and on-shore conditions. Furthermore, sleep quality was significantly related to the number of sleep hours per day ($r = -0.31$, $P < 0.05$) and perceived fatigue off-shore ($r = 0.82$, $P < 0.01$). The effect size of sleep quality shows a medium difference ($ES = 0.69$) compared with the Atlantic crossing, whereas perceived fatigue ($ES = -0.14$) shows only a small effect (see Table II).

Influence of wind

The mean of the wind force during the Pacific crossing was 13.8 knots ($s = 9.3$). As expected, wind force had a significant influence on the sailor's level of anxiety ($r = 0.62$, $P < 0.01$; see Figure 1), sleep behaviour ($r = -0.31$, $P < 0.05$; see Figure 1), perceived fatigue ($r = 0.51$, $P < 0.01$), the perception of his sleep quality ($r = 0.51$, $P < 0.01$), and appetite ($r = -0.46$, $P < 0.01$). A more complex model with

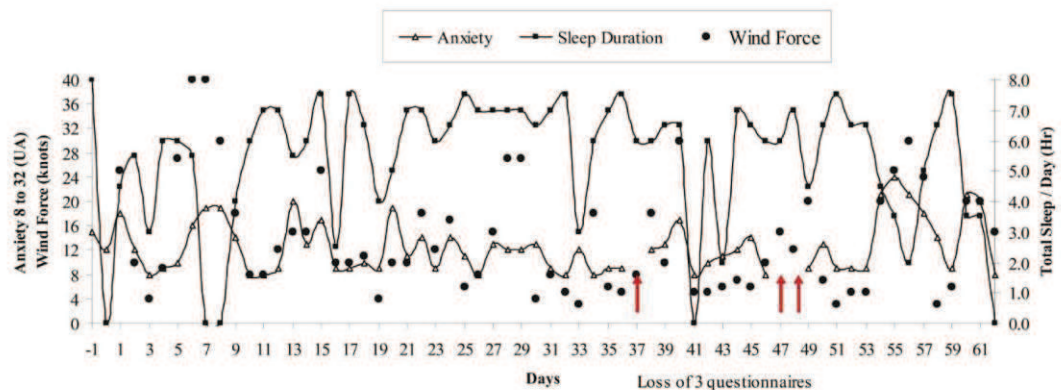


Figure 1. Relationship between wind force, sleep duration, and anxiety from day 1 to the finishing line on day 62. Note: Three days of data were lost on days 37, 47, and 48.

one transfer function was tested on anxiety without success. Moreover, the wind force and the related sea conditions had a negative role on his sleep, and made it difficult or even impossible. During this crossing, the sailor reported three periods of total sleep deprivation (previous night from day 7 to 8, 41 and 62 as shown in Figure 1). Otherwise, the sailor was able to manage his sleep well during the crossing. Finally, the difference in the effect size found between the Atlantic crossing and the Pacific crossing shows a small effect ($ES = -0.35$).

State of anxiety and other variables

The comparison of anxiety on-shore with that off-shore shows a non-significant relationship (4%, $P = 0.058$). This borderline value shows a tendency for significant differences in level of anxiety before and during the crossing. However, appetite was significantly lower on the boat compared with on-shore (-4% , $P < 0.05$). A strong relationship was also found between anxiety and perceived fatigue ($r = 0.79$, $P < 0.01$). The addition of one or two transfer functions did not determine a significant increase in the relationship. Furthermore, anxiety is related to appetite ($r = -0.46$, $P < 0.01$) and sleep desire ($r = 0.74$, $P < 0.01$). Finally, the effect size of 0.23 indicates a small difference in anxiety from that of the Atlantic crossing (see Table II).

Discussion

The most important finding in the present study is that the sailor's deliberate sleep strategy of 5.4 h sleep per day (24% less compared with on-shore) was enough to keep his anxiety within acceptable limits and enabled him to achieve his goal of the first solo crossing of the Pacific Ocean on a catamaran of less than 20 feet in length.

This study, which replicates the one done during the Atlantic crossing in 2002, confirmed that an adapted sleep pattern is a determinant during solo sailing and helps the achievement of extreme sailing performance. Other studies have shown sleep management strategies or polyphasic sleep to be the best way for solo, double-handed sailor, and team sailors to perform well and adapt to extreme sailing conditions (Léger et al., 2008; Stampi, 1989).

In this study, we also observed that the period of sleep was almost twice as long as that during the Atlantic crossing. This was a deliberate choice made based on the sailor's previous experience. Hurdie and colleagues (Hurdie, Monaca, & Theunynck, 2008) also observed this phenomenon during the longest (27 days) stage of an Atlantic race compared with the shortest stage (7 days). The large effect size (1.54) between the Atlantic and Pacific confirms the

hypothesis that sleep requirements are higher for longer crossings than for shorter ones.

Furthermore, sailors have to find a balance between performances, security, and sleep. It is obvious that steering in stormy weather, strong winds, or due to the lost of his auto-pilot, that this was the only way for the sailor to complete his challenge, while maintaining a good command of his boat, avoiding accidents, and taking continuous advantage of the wind direction.

The positive correlation between wind force and anxiety, as identified Gros Lambert et al. (2008), was not supported by a more complex model that uses one or more transfer function. This reveals that the wind had only a short lasting effect on anxiety. Moreover, sleep deprivation influenced the level of anxiety negatively. This relationship is reinforced by a model using one transfer function. This was also identified by Gros Lambert et al. (2008) during the Atlantic crossing in 2002, but apparently contradicts Bonnet and Arand (1998), who reported that sleep deprivation had no effect on anxiety. This apparent difference could be explained by the linear relationship investigated in that study, whereas in the present study we characterized the long-lasting effect of sleep deprivation using non-linear transfer functions. Sleep deprivation has a minor effect the next day following deprivation but its real effect becomes apparent several days later when such deprivation has been repeated. Our results are in line with a number of previous studies (Chambers & Kim, 1993; Kahn-Greene et al., 2007; Peeke et al., 1980; Vadar et al., 2007; Vein et al., 1983), who observed an increase in anxiety after total or partial sleep deprivation. The short time constant of 0.65 found in the present study indicates a capacity of recovery from anxiety of 2–3 days (4–5 times the time constant). This is in contrast with the Atlantic crossing when Gros Lambert et al. (2008) observed a much longer decrease time (16 days) in anxiety, and will be considered as an important result in the context of solo sailing. This difference highlights the importance of the sleep strategy retained. The total number of sleep hours per day appears to be of particular importance. Further studies are required to confirm this during the round-the-world challenge solo challenge and during other solo sailing. Hence the key issues are: (1) How does a solo sailor self-perceive anxiety? (2) Is it reasonable to think that a sailor being able to recover sleep lost during a windy stage by sleeping during calmer periods is a positive thing?

Finally, this does not explain why there is only a tendency for anxiety to decrease between on-shore and off-shore periods (-4% , $P = 0.058$) and why the level of anxiety showed a relatively low score (12 out of 32) during the crossing. One hypothesis could be that the sailor's experience (Kulas, 2001) of those

challenges in the past helped him to manage his anxiety well during the crossing. The low effect size (0.23) for anxiety between the Pacific and the Atlantic crossings combined with the effect of more sleep suggests a positive effect on anxiety management. Furthermore, the higher anxiety values before the crossing could be due to the fact that the navigator estimated that the pre-crossing period could play a major part in the success of the crossing. During this period, the sailor was still able to check or test his boat and could make modifications as needed. However, after the start, these operations were no longer possible. Such behaviour has previously been reported by other explorers preparing for extreme expeditions (Maniquet, 1988).

If we assume that the total number of sleep hours per day is directly influenced by wind force, it is also important to understand any other factors that may influence sleep deprivation. Sleep quality was worse off-shore and during periods with lots of wind, and this could also have been affected by conditions on the boat, for example, no cabin and just a polyvinyl chloride cloth as protection. Thus, the perception of the sailor's sleep quality on board was 36% lower than that on-shore, which means that the sailor considered the conditions to be worse on-board.

Other arguments include the medium effect size in sleep quality compared with the Atlantic crossing, which shows that the Pacific is perceived as being harder to cross and could explain why sailors' sleep requirements could be higher. Put into context, the fact that the sailor perceived his sleep quality as better after a longer sleep, which is supported by the negative significant relationship with the number of sleep hours off-shore, demonstrates that environmental conditions play an important role. There is logic behind this statement as for the confirmation of other correlations. For example, the negative relationship between wind force and the total number of sleep hours. The sailor slept more and had better quality sleep during low wind conditions. Finally, the observation that wind force had an impact on other variables such as appetite, perceived fatigue, and sleep quality appears to confirm that wind plays an important role in the behaviour of the sailor.

The fact that we did not find any significant difference in the average wind force and distance covered between the Atlantic and the Pacific ($ES = -0.35$) indicates that the Pacific crossing was also tougher due to other factors. Those factors could be the length of the crossing, which is twice as long as that of an Atlantic crossing, the cold and how the sailor approached the challenge. This factor prompted us to create a new questionnaire, which will be used during the round-the-world solo challenge. The results of this around-the-world campaign

should provide us with an even better understanding of solo sailors and their behaviour.

Limitations

This study had a number of limitations. Sailing on a small catamaran does not allow for the use of much technology, which influences standardization. A limitation was the difficulty in ensuring the objective measurement of sleep duration. For example, micro sleeps have not been taken into account and there was a lack of physiological variables (e.g. heart rate hormonal responses for anxiety). In future, researchers should use wrist actimetry and a heart rate recorder to accurately determine the sleep and consciousness periods, and anxiety as well as arousal. The mathematical model we used does not allow us to calculate reverse influences such as the influence of anxiety on sleep and vice versa. Finally, it is possible that fatigue played a role in how well the sailor filled in the questionnaire and this may have influenced his scores.

In conclusion, the conservative sleep strategy used by the sailor in the present case study allowed him to establish the world record for a one-man Pacific Ocean crossing in 2006. The management of his sleep allowed him to minimize sleep deprivation, his state of anxiety, and perceived fatigue. However, the wind force played a role in increasing the sailor's anxiety and sleep deprivation.

Acknowledgements

The authors would like to thank the sailor, Alessandro Di Benedetto, for his compliance in completing the questionnaire in severe weather conditions and Stéphanie Roulet for proofreading the English manuscript.

References

- Balkin, T. J., Bliese, P. D., Belenky, G., Sing, H., Thorne, D. R., Thomas, M. et al. (2004). Comparative utility of instruments for monitoring sleepiness-related performance decrements in the operational environment. *Journal of Sleep Research*, 13, 219–227.
- Banks, S., & Dinges, D. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 3, 519–528.
- Belenky, G., Wesensten, N. J., Thorne, D. R., Thomas, M. L., Sing, H. C., Redmond, D. P. et al. (2003). Pattern of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: A sleep dose-response study. *Journal of Sleep Research*, 12, 1–12.
- Bennet, G. (1973). Medical and psychological problems in the 1972 singlehanded transatlantic yacht race. *The Lancet*, 302, 747–754.
- Bonnet, M. H., & Arand, D. L. (1998). The consequence of a week of insomnia, II: Patients with insomnia. *Sleep*, 21, 359–368.

- Bourgeois-Bougrine, S., Carbon, P., Gounelle, C., Mollard, R., & Coblenz, A. (2003). Perceived fatigue for short and long-haul flights: A survey of 739 airlines pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74, 1072–1077.
- Busso, T., Candau, R., & Lacour, J. R. (1994). Fatigue and fitness modeled from the effects of training on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 69, 50–54.
- Chambers, M. J., & Kim, J. Y. (1993). The role of state-trait anxiety in insomnia and daytime restedness. *Behavioural Medicine*, 19, 42–46.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2nd edn.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dorrian, J., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2005). Psychomotor vigilance performance: Neurocognitive assay sensitive to sleep loss. In C. A. Kushida (Ed.), *Sleep deprivation: Clinical issues, pharmacology and sleep loss effects* (pp. 39–70). New York: Marcel Dekker.
- Eriksen, C. A., Gillberg, M., & Vestergren, P. (2006). Sleepiness and sleep in a simulated “six hours on/six hours off” sea watch system. *Chronobiology International*, 23, 1193–1202.
- Gros Lambert, A., Candau, R. B., & Millet, G. P. (2008). Effect of sleep deprivation on anxiety and perceived fatigue during a one-man Atlantic crossing on a sport catamaran. *Environment and Behavior*, 40, 96–110.
- Hedges, L. V. (1982). Estimation of effect size from a series of independent experiments. *Psychological Bulletin*, 92, 490–499.
- Hurdiel, R., Monaca, C., & Theunynck, D. (2008, June). *Influence de la durée de course sur le temps de sommeil et sur la performance de navigateurs en solitaire transatlantique*. Paper presented at the 40th Congress of the French Chronobiology Society, Caen, France.
- Kahn-Greene, E. T., Killgore, D. B., Kamimori, G. H., Balkin, T. J., & Killgore, W. D. (2007). The effects of sleep deprivation on symptoms of psychopathology in healthy adults. *Sleep Medicine*, 8, 215–221.
- Kulas, H. (2001). Anxiety relationship to the performance, age and training experience in competitive sailors. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 45, 181–190.
- Léger, D., Elbaz, M., Raffray, T., Metlaine, A., Bayon, V., & Duforez, F. (2008). Sleep management and the performance of eight sailors in the Tour de France à la voile yacht race. *Journal of Sports Sciences*, 26, 21–28.
- Lewis, H. E., Harries J. M., Lewis, D. H., & De Monchaux, C. (1964). Voluntary solitude, studies of men in a single-handed transatlantic sailing race. *The Lancet*, 1 (7348), 1431–1435.
- Maniguet, X. (1988). *Comment vaincre en milieu hostile* [How to conquer a hostile environment]. Paris: Albin Michel.
- Millet, G. P., Gros Lambert, A., Barbier, B., Rouillon, J. D., & Candau, R. B. (2005). Modelling the relationships between training, anxiety and fatigue in elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 492–498.
- Peeke, S. C., Callaway, E., Jones, R. T., Stones, G. C., & Doyle, J. (1980). Combined effects of alcohol and sleep deprivation in normal young adults. *Psychopharmacology*, 67, 279–287.
- Rutenfranz, J., Plett, R., Knauth, P., Condon, R., De Vol, D., Fletcher, N. et al. (1988). Work at sea: A study of sleep and of circadian rhythms in physiological and psychological functions, in watch keepers on merchant vessel. II: Sleep duration and subjective ratings of sleep quality. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 60, 331–339.
- Sanquist, T. F., Raby, M., Forsythe, A., & Carvalhais, A. B. (1997). Work hours, sleep patterns and fatigue among merchant marine personnel. *Journal of Sleep Research*, 6, 245–251.
- Stampi, C. (1989). Polyphasic sleep strategies improve prolonged sustained performance: A field study on 99 sailors. *Work and Stress*, 3, 41–55.
- Van Dongen, H. P. A., Maislin, G., Mullington, J. M., & Dinges, D. F. (2003). The cumulative cost of additional wakefulness: Dose–response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, 2, 117–126.
- Vardar, S. A., Öztürk, L., Kurt, C., Bulut, E., Sut, N., & Vardar, E. (2007). Sleep deprivation induced anxiety and anaerobic performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 532–537.
- Vein, A. M., Dallakyan, I. G., Levin, Y. I., & Skakun, K. E. (1983). Physiological and psychological consequences of single sleep deprivation. *Human Physiology*, 8, 392–396.
- World Sailing Speed Record Council (undated). *Current outright and all other ratified records (speed order)*. Retrieved 16 June 2008 from: <http://www.sailspeedrecords.com/wssrc-ratified-passagerecords.html>.

Titre : Influence d'un environnement chaud et humide sur les réponses perceptives et physiologiques : applications dans le domaine du sport et de la santé.

Résumé : La réalisation d'une performance sportive dans un environnement chaud est un challenge majeur que doivent surmonter les athlètes de haut niveau notamment à l'occasion des Jeux Olympiques d'été. Depuis plusieurs décennies, les scientifiques ont tenté de trouver des solutions innovantes. Parmi les réponses proposées, on distingue aujourd'hui le refroidissement corporel préalable ou consécutif à l'effort (le pré et le post-cooling, respectivement), qui permettrait de minimiser les risques d'hyperthermie et améliorerait la récupération de l'athlète. Cependant, les modalités d'utilisation de ces méthodes et leur efficacité font l'objet de conclusions pour le moins contradictoires en raison notamment des techniques de refroidissement mises en œuvre (refroidissement par immersion, vêtements thermorégulants, brumisation...), de la durée d'application, du type d'exercice réalisé et des conditions environnementales explorées. La préparation des Jeux Olympiques à Pékin, en Août 2008, a été une occasion unique de faire un état de l'art sur les méthodes existantes. Nous avons testé chez des cyclistes de haut niveau l'hypothèse selon laquelle une stratégie de refroidissement utilisant une veste garnie d'accumulateurs thermiques permettrait d'améliorer le confort thermique et la performance lors d'un exercice de type anaérobie (Wingate test) et lors d'une épreuve d'endurance de 20 minutes. L'étude menée sur le test de Wingate ne montre aucun effet significatif du pré-cooling sur le pic de puissance ni sur la puissance moyenne mais permet néanmoins d'améliorer significativement ($P < 0,05$) l'indice de fatigue des athlètes testés. Sur l'épreuve de 20 minutes, le pré-cooling permet une amélioration significative ($P < 0,05$) de la puissance moyenne développée, du confort thermique et une baisse significative des températures cutanées et rectales. Une autre étude portant sur l'influence de différents maillots sur les réponses physiologiques et perceptives de coureurs cyclistes a montré qu'un maillot constitué de larges mailles offrait un meilleur confort thermique en diminuant significativement ($P < 0,05$) la température cutanée, mais sans modifier la perception de l'effort. Les bénéfices observés chez les cyclistes de haut niveau nous ont orientés vers la mise en œuvre d'un protocole similaire appliqué à des personnes atteintes de pathologies affectant la thermorégulation. Ainsi, nous avons débuté un protocole de recherche clinique exploratoire visant à étudier les effets du port d'une veste thermorégulante sur les performances motrices et cognitives de patients atteints de sclérose en plaques. Ce protocole, qui a obtenu l'accord du Comité de Protection des Personnes du Grand Est –II, devrait commencer fin 2012.

Mots clés : Thermorégulation, perception de l'effort, refroidissement corporel, chaleur et humidité, sclérose en plaques, performance sportive, confort thermique.

Title: Hot and humid environment influences of perceived and physiological responses: sport and health applications.

Abstract: Exercising in the heat and high relative humidity is a major challenge that athletes have to overcome, especially during the summer Olympic Games. For decades, scientists investigated innovative solutions amongst which the body cooling before competing (pre-cooling) or after competing (post-cooling) seemed to be a valuable mean of minimizing hyperthermia threats and increasing the recovery of the athletes. However, contradictory results have been reported concerning body cooling protocols (cold water immersion, cooling vests, water sprays, etc.), exposure time, exercise duration, environmental conditions and their efficiency. By preparing the 2008 Beijing Olympic Games, we managed to review the existing literature on those methods. We hypothesized that a cooling vest combined with a cooling headband would increase thermal comfort of elite cyclists and their performances on an anaerobic (Wingate Test) and endurance (20 minutes time-trial) exercises. The Wingate Test study showed no significant effect of pre-cooling on peak or mean power output despite a significant increase ($P < 0.05$) of fatigue indexes. During the endurance study, pre-cooling maneuvers induced significant improvement ($P < 0.05$) of the mean power output, of the thermal comfort and a significant decrease in rectal and skin temperatures. Another study concerning the influence of wearing different cycling shirt on perceived and physiological responses of cyclists showed that a large knitted shirt provided a better thermal comfort by decreasing significantly ($P < 0.05$) skin temperatures, but without affecting perceived exertion. Those positive results on elite athletes lead us to apply similar cooling strategies on a population experiencing disease-related thermoregulation troubles. We decided to initiate an exploratory clinical study aiming at investigating the effects of a cooling vest on motor and cognitive skills of patients with multiple sclerosis disease. This protocol obtained the clearance of the French National Ethics Committee – East Section II, and should start on the late of 2012.

Keywords: Thermoregulation, perceived exertion, body cooling, heat and humidity, multiple sclerosis, sport performance, thermal comfort.